



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica

**Determinación del mapa de zonas de vida por
metodología Holdridge mediante técnicas de
sensoramiento remoto y geoestadística en la vertiente del
Pacífico del Perú**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

AUTORES

Jenrry Smith BACILIO BERNAL

Lorena Alessandra RAMOS HUAMANCHUMO

ASESORES

Renán Alberto PACHECO ABAD

César Luis AYBAR CAMACHO

Lima, Perú

2019

Referencia bibliográfica

Bacilio, J. & Ramos, L. (2019). *Determinación del mapa de zonas de vida por metodología Holdridge mediante técnicas de sensoramiento remoto y geoestadística en la vertiente del Pacífico del Perú*. Tipo de investigación para optar el título profesional de Ingeniero Geógrafo. Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Bacilio, J. & Ramos, L. (2019). *Determinación del mapa de zonas de vida por metodología Holdridge mediante técnicas de Sensoramiento remoto y geoestadística en la vertiente del Pacífico del Perú*. Tipo de investigación para optar el título profesional de Ingeniero Geógrafo. Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

HOJA DE DATOS COMPLEMENTARIO

Código Orcid del autor (dato opcional):

Código Orcid del asesor:

0000-0002-6222-438X

DNI de los autores:

47622255

44380208

Grupo de Investigación:

Institución que financia parcial o totalmente la investigación:

Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación. Debe incluir localidades y coordenadas geográficas:

Coordenadas geográficas:

Longitud	Latitud
80° 18' 25"	3° 23' 10"
70° 22' 41"	18° 21' 07"
81° 19' 34"	4° 40' 19"
69° 44' 53"	17° 56' 35"

Ubicación: Vertiente hidrográfica del Pacífico, Perú.

Año o rango de años que la investigación abarco:

1981-2010



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓGRAFO

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el día Jueves 05 de diciembre del año 2019, siendo las 18:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Ing. JOSÉ QUISPE VILCHEZ
Mg. WALTER APARICIO ARÉVALO GÓMEZ
Ing. JOSÉ ANTONIO SANDOVAL CASAS

Presidente
Miembro
Miembro

Reunidos en Acto Académico Público de Sustentación de la TESIS titulada: **“DETERMINACIÓN DEL MAPA DE ZONAS DE VIDA POR METODOLOGÍA HOLDRIDGE MEDIANTE TÉCNICAS DE SENSORAMIENTO REMOTO Y GEOESTADÍSTICA EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DEL PERÚ”**, presentado por los Bachilleres **JENRRY SMITH BACILIO BERNAL** y **LORENA ALESSANDRA RAMOS HUAMANCHUMO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo.

Expuesta la Tesis; los miembros del Jurado plantearon al Bachiller las preguntas pertinentes, que fueron absueltas a:

SATISFACCIÓN


Concluida la sustentación de Tesis, el Jurado procedió a evaluar y calificar la calidad y sustentación en secreto, cuyo calificativo fue:


APROBADA (15)


Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓGRAFO**, a Don **JENRRY SMITH BACILIO BERNAL** y **LORENA ALESSANDRA RAMOS HUAMANCHUMO**


Siendo las 19:30 horas, se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de Tesis, firmadas por el Jurado Calificador.

Ciudad Universitaria, 05 de diciembre del 2019


Ing. JOSÉ QUISPE VILCHEZ
PRESIDENTE


Mg. WALTER APARICIO ARÉVALO GÓMEZ
MIEMBRO


Ing. JOSÉ ANTONIO SANDOVAL CASAS
MIEMBRO


Mg. RENÁN ALBERTO PACHECO ABAD
ASESOR DE TESIS

DEDICATORIA

A Dios.

*A mis padres, Carmen y Javier, por su apoyo y sacrificio
y mis hermanas Melissa, Christell, Frida y Javier, por su ejemplo y motivación.*

*A mis padres, Sara y Alberto, son mi motivación,
y a mis hermanos Lizeth, Luis y Fernando por su cariño y apoyo.*

AGRADECIMIENTOS

A nuestros asesores, Mg. Renan Pacheco Abad e Ing. César Luis Aybar Camacho, por su constante apoyo y valiosos consejos.

Al grupo de investigación Ordenamiento Territorial y Ambiental (GEOORDEN) con sede en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica, por su acogida y acompañamiento en la construcción de nuevos conocimientos.

A los jurados, Ing. José Quispe Vílchez, Ing. José Sandoval Casas e Ing. Walter Arévalo Gómez por sus importantes recomendaciones.

A nuestras familias, Fam. Ramos Huamanchumo y Fam. Bacilio Bernal, por su comprensión y alentarnos a continuar en la realización de esta tesis, son muy importantes para nosotros.

A nuestros amigos, Jorge, Evelin, César y Giovanni, por animarnos y apoyarnos desde la etapa universitaria.

A todas aquellas personas que con su aliento y colaboración permitieron el desarrollo de la presente investigación.

Determinación del mapa de Zonas de vida de Holdridge mediante técnicas de Sensoramiento remoto y Geoestadística en la vertiente del Pacífico del Perú

1. Introducción

En la actualidad el Perú cuenta con un Mapa Ecológico que determina las Zonas de Vida de Holdridge ubicadas en el territorio, este mapa fue realizado por el Dr. Joseph Tossi Jr. en 1960, el cual, debido a su gran impacto y demanda, fue necesario que se publicara una segunda edición del mapa a escala 1:1000 000 en 1976, donde nuevamente el Doctor Tossi asistió de manera técnica en la elaboración de este documento. Para 1995, el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) realizó una reimpresión del Mapa Ecológico de 1976, cuyo informe incluye el manual que se aplicó para determinar las Zonas de Vida, con la finalidad de que sea usado como una herramienta técnica y de gestión ambiental para el desarrollo del país.

El modelo de Holdridge ha sido resaltado entre otros enfoques sobre caracterización de eco- sistemas naturales, debido a tener una mayor aplicación gracias a su accesibilidad universal y el tratamiento de datos. En virtud de estas ventajas, diversos países han aplicado este modelo (Guatemala, Cuba, China, Estados Unidos, Costa Rica, Turquía entre otros) y Perú no es la excepción. El trabajo realizado por el Dr. Tossi y su equipo concluye que el Perú está conformado por 84 Zonas de vida y 17 de carácter transicional en tres regiones que cubren el país: tropical, subtropical y templado cálida. Sin embargo, estos estudios fueron realizados hace más 40 años (56 años desde su primera versión) con limitaciones de precisión en la data por la cantidad de información disponible debido a que el número de estaciones era muy reducido, además no se contaba con técnicas de interpolación robustas y de manejo computacional.

A la fecha se sigue trabajando con un Mapa de más de 40 años de antigüedad, sin tener en cuenta la situación de las Zonas de Vida en el marco del cambio climático, ya que al mínimo cambio de temperatura o precipitación las Zonas de Vida podrían migrar a otro espacio geográfico, según las tendencias globales, donde los ecosistemas cuyas altitudes son mayores son más vulnerables al calentamiento global (Jiménez, Chain y Locatelli,

2010). Es por eso, que en este trabajo se ha elaborado la determinación de las Zonas de vida de Holdridge en la Vertiente Hidrográfica del Pacífico, ya que en esta parte del país se cuenta con la mayor cantidad de estaciones meteorológicas tanto para precipitación como para temperatura, datos confiables y con una mayor serie de años que es posible fusionar con información de climatologías (precipitación y temperatura) en alta resolución proveniente de sensores remotos.

1.1. Planteamiento del Problema

Para una gestión eficiente del ecosistema, es necesario el conocimiento del entorno que habitamos, entorno donde se desenvuelve la vida y que es fundamental para el desarrollo. Para lograr el conocimiento y desarrollo mencionado es vital contar con información actualizada, ya que al contar con un mapa elaborado hace más de 40 años, tanto los datos como los resultados de diversas investigaciones o trabajos para planificación y gestión, van a realizarse y obtener sobre una realidad equívoca. El primer Mapa ecológico tuvo como base en los datos 100 estaciones meteorológicas, al día de hoy SENAMHI cuenta con más de 900 estaciones, lo que mejora la densidad de la red meteorológica pero es insuficiente para la extensión territorial que tiene nuestro país, por lo que se complementó los datos con información satelital, obtenida de la Misión de Mediciones de Lluvias Tropicales (*Tropical Rainfall Measuring Mission-TRMM*) realizada por la NASA, así como imágenes satelitales MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer*) para la temperatura. La fusión de la data provista por SENAMHI con las imágenes satelitales por medio de Técnicas de Geoestadística nos proporciona data actualizada y verídica que van a dar como resultado un Mapa de Zonas de Vida de Holdridge (ZDV en adelante) en la Vertiente del Pacífico Perú acorde con la realidad que muestra nuestro territorio.

1.2. Problemática

1.2.1. Problema General

¿De qué manera las técnicas de Sensoramiento remoto y Geoestadística permiten la determinación del mapa de Zonas de Vida de Holdridge en la vertiente del Pacífico-Perú?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿De qué manera se da el análisis de la variabilidad espacial y los patrones de precipitación mediante el uso de datos de climatología en alta resolución sobre precipitación?
- ¿De qué manera se estima la variabilidad espacial y las gradientes de temperatura con el uso de imágenes satelitales MODIS?
- ¿Cuáles son las co-variables que posibilitan elaborar el Mapa de ZDV en la Vertiente del Pacífico?
¿De qué modo afecta a la información observada en las estaciones meteorológicas?
- ¿En qué medida nos ayuda identificar las áreas naturales protegidas cubiertas por ZDV de modo representativo, a elaborar lineamientos y bases con el fin preservar la biodiversidad, así como gestionar, conservar y utilizar de manera racional los recursos?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el mapa de ZDV en la Vertiente del Pacífico - Perú utilizando el sistema de Clasificación de Holdridge (SCH en adelante), mediante técnicas de Sensoramiento remoto y Geoestadística

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar la variabilidad espacial y los patrones de precipitación usando datos de climatología en alta resolución.
- Estudiar la variabilidad espacial y las gradientes de temperatura producidas por imágenes satelitales MODIS.
- Identificar las covariables que nos permiten elaborar el Mapa de ZDV, con la finalidad de mejorar la información que sustenta la elaboración de estudios, investigaciones, inventarios, etc., que favorecen los procesos de gestión y planificación del territorio.
- Reconocer si las Áreas Naturales Protegidas (ANP) cubren un área representativa de las ZDV que permitan la elaboración de lineamientos y bases en pro de la preservación de la biodiversidad, así como la gestión, conservación y uso racional de los recursos naturales.

1.4. Marco Normativo

Teniendo en cuenta que la presente tesis tiene como uno de sus objetivos el mejoramiento de la información que nos permita una buena elaboración de estudios que favorezcan la gestión y planificación del territorio. Tenemos las siguientes normas legales:

- Decreto Supremo N° 017–2009–AG Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor, que en su artículo 3 capítulo 2, Menciona que el sistema de clasificación es un sistema interpretativo de los estudios de los suelos basándose en las zonas de vida y el relieve.
- Ley 26821 “Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de Recursos Naturales”, que en su Artículo 11 establece, que la Zonificación Ecológica Económica, se aprueba a propuesta de la Presidencia del Consejo de Ministros, en coordinación intersectorial.
- Decreto Supremo N° 087–2004–PCM, que aprueba el “Reglamento de Zonificación Ecológica Económica” que define el proceso de ZEE como un proceso dinámico y flexible, y que en su Artículo 11 establece que los Gobiernos Regionales y Locales son las entidades encargadas de la ejecución de la ZEE dentro de sus respectivas jurisdicciones.
- Ley 27867 “Ley Orgánica de Gobiernos Regionales”, que en su Artículo 53 establece que el Gobierno Regional debe planificar y desarrollar acciones de ordenamiento territorial y delimitación en el ámbito de su territorio, en armonía con las políticas y normas vigentes, en coordinación con la Comisión Ambiental Regional.
- Ley N° 28611, “Ley General del Ambiente”, que dispone en su Art. 21 la asignación de usos territoriales en base a la evaluación de potencialidades y limitaciones del territorio utilizando criterios físicos, biológicos, ambientales, sociales, económicos y culturales mediante el proceso de ZEE que está sujeto a la Política Nacional Ambiental.
- Decreto Supremo N° 088–2007–PCM, que modifica el “Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica – ZEE”; que en su Artículo 15 establece como una de las funciones del Comité Técnico, emitir opinión y recomendaciones sobre normas, procesos y metodologías vinculadas al Ordenamiento territorial.
- Decreto del Consejo Nacional del Ambiente: Consejo Directivo N° 10–2006– CONAM/CD, que aprueba la Directiva “Metodología para la Zonificación Ecológica y Económica”.

2. Marco teórico y conceptual

2.1. Antecedentes teóricos

Memoria descriptiva del Estudio Climático y Zonas de Vida del Departamento de Junín a Escala 1:100000.

Se basa en el SHC para desarrollar un estudio bioclimático en la región Junín, para formar grupos de unidades de Zonificación Ecológica-Económica, esto con el fin de plantear un Plan de Ordenamiento Territorial. Se obtuvo como resultado Los biomas en la región; a su vez algunos pluviómetros muestran características locales, esto se usó como insumo para formar productos a escala regional. Es así que se hallaron 23 Zonas de vida en la Región (Comisión Técnica Regional Junín, 2015).

Diagrama Bioclimático de Zonas de Vida del SCH Adaptado e Interpretado a la Geografía del Perú

Diagrama del SCH aplicado a la realidad geográfica y climatológica del Perú. Carlos Zamora Jimeno divide las zonas de vida del Sistema de Holdridge en Zonas secas y zonas húmedas. A su vez las relaciona con su potencial agrícola y determina la forma de riego más conveniente. Es así pues que determina 3 grandes grupos de zona de vida como: Zona seca, Zona Sub-húmeda y Zona húmeda, acotando que el territorio nacional comprende un 30 % de ámbito seco y un 70 % se encuentra en ámbito húmedo (Zamora, 2009). A continuación, se muestra la figura N°1, la adaptación elaborada por Zamora del Diagrama Bioclimático del Sistema de Zonas de Vida de Holdridge a la realidad geográfica del Perú.

DIAGRAMA BIOCLIMATICO DE ZONAS DE VIDA DEL SISTEMA HOLDRIDGE **ADAPTADO E INTERPRETADO A LA GEOGRAFIA DEL PERU por : Ing. Carlos J. Zamora J.**

(2009)

Superficie Territorial : 1 285 215,60 Km²

Componentes Principales

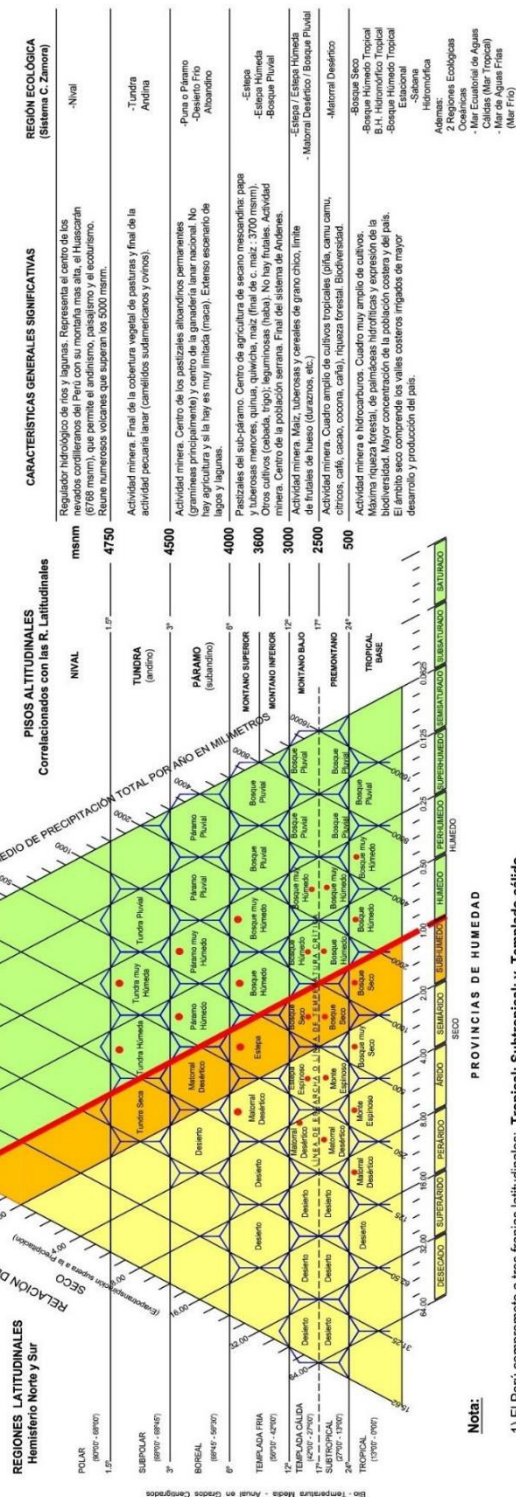
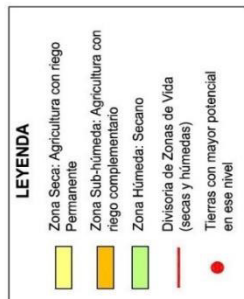
- Agricultura con riego.
- Pasturas temporales (lomas del litoral-sabana de la costa septentrional).
- Bosques de Trópico Seco.
- Valles mesoandinos esteparios occidentales.

30% del Territorio Nacional (ámbito seco)

Componentes Principales

- Agricultura de Secano (Hasta 4000 msnm).
- Valles mesoandinos y altiplanicies húmedos.
- Pasturas Naturales Permanentes (> 3600 < 4600 msnm).
- Bosques Heterogéneos de Trópico húmedo (100 < 3300 msnm).

70% del Territorio Nacional (ámbito húmedo)



- Nota:**
- 1) El Perú compromete a tres franjas latitudinales: **Tropical; Subtropical; y, Templado-clido**.
 - 2) Verticalmente, debido a la altitud de la Cordillera de los Andes, presenta siete (07) pisos ecológicos. El piso **Montano** ha sido subdividido por el suscrito en **Montano superior** y **Montano inferior** debido a rasgos propios específicos.
 - 3) **Paramo**: conforma una formación fitogeográfica específica de los Andes extremo septentrionales del Perú y que se extiende desde Venezuela, Colombia y Ecuador. La Puna deberá relegarse para los Andes Centrales y Meridionales del Perú, extendiéndose a Bolivia y el norte andino de Chile.
 - 4) **Tundra Andina**: Denominada por su cierta similitud con la Región Tundra del Hemisferio Norte, pero, careciendo de permafrost (suelo congelado todo el tiempo), de inviernos largos umbrosos y de la marcada oblicuidad de los rayos solares.

Figura 1: Diagrama Bioclimático de Zonas de Vida del Sistema de Holdridge, adaptado e interpretado a la geografía del Perú (Zamora Jimeno, 2009).

Evaluación de imágenes satelitales de precipitaciones (TRM 3B43 mensual) en las regiones costa, sierra y oriente del Ecuador

La investigación utilizó datos del producto TRMM 3B43 de la Misión de mediciones para lluvias tropicales de la NASA junto con data meteorológica provista por INAMHI de Ecuador, para evaluar las precipitaciones mensuales. “Los datos precisos de precipitación son de vital importancia para el manejo de recursos hídricos; sin embargo, son difíciles de estimar sobre todo en regiones donde la precipitación tiene una alta variabilidad espacial y las redes de pluviómetros son escasas, como es el caso del Ecuador. Los algoritmos que utilizan las imágenes satelitales para estimar precipitación espacial son entonces de gran ayuda, aunque tienen una resolución y precisión limitada, por lo que se vuelve necesaria su evaluación para encontrar series de datos adicionales que ayuden a la caracterización de la precipitación en una zona”(Loayza, 2014).

Análisis del algoritmo Kriging con deriva externa aplicada a la estimación de la precipitación en orografía compleja (Analysis of external drift kriging algorithm with application to precipitation estimation in complex orography).

Los patrones de precipitación están muy influenciados por la geografía global, como la presencia de montañas y distancia del mar. En la investigación se analiza el Kriging con algoritmo de deriva externa y su desempeño en la estimación de la precipitación en orografía compleja para obtener el mejor modelo de estimación de precipitación en dichas condiciones. Como la lluvia fue escasamente muestreada, se complementó utilizando atributos secundarios que fueron más densamente muestreado. Las covariables utilizadas fueron elevación, aspecto de la pendiente, distancia de la costa, factor de cobertura vegetal (del campo continuo de vegetación) e índice topográfico que es una covariable derivada (Bernard, 2007).

Análisis geoestadístico de la distribución espacial de la precipitación en la bahía de San Francisco desde 1890 hasta 2013: un enfoque SIG (Geostatistical analysis of the spatial distribution of precipitation in the San Francisco Bay area from 1980 to 2013: A GIS approach).

Este estudio ha modelado la distribución espacial de la precipitación en la Bahía de San Francisco, área que utiliza el análisis geoestadístico en un SIG para ayudar a los administradores de recursos hídricos regionales y planificadores. Los principales objetivos de este estudio fueron:

(1) utilizar métodos geoestadísticos para estimar, analizar, modelar y caracterizar la variabilidad espacial de la precipitación sobre 124 años desde 1890 hasta 2013 utilizando datos medidos y simulados de pluviómetros,

(2) interpolar 49 Mapas de precipitación que representan 5 períodos climáticos que abarcan 31 años dentro de 1890 a la línea de tiempo 2013 (Allred, 2016).

Determinación de las zonas de vida en la provincia de Los Ríos de acuerdo a la metodología de Holdridge.

Estudio que considera los valores promedios anuales de temperatura y precipitación de 26 estaciones meteorológicas en un periodo de 49 años (1950-1998), ubicadas en la provincia de Los Ríos Guayaquil–Ecuador y zonas aledañas, con cuyos datos se determinaron las isolas de temperatura y precipitación (Wellington, 1999).

2.2. Clasificación de las Zonas de vida de Holdridge

2.2.1. Bases del Sistema

El SCH es una estructura de alcance mundial (Holdridge, 1967) orientado de manera rigurosa a la ecología. Según la Guía Explicativa del Mapa Ecológico del Perú la clasificación del sistema difiere del resto porque la misma define cuantitativamente la interrelación entre los factores de clima y vegetación. Factores tales como la humedad ambiental, la biotemperatura y la precipitación tienen asignado el valor de independientes; en tanto los parámetros bióticos se toman como dependientes; en otras palabras, son consecuencia de la acción climática directa en cualquier sitio del planeta. El sistema se basa en un modelo que nos define resumidamente las características y valores climáticos de las ZDV (*ONERN, 1976*). Estos Valores Cuantitativos son determinados a través de investigaciones y estudios de la interrelación entre el clima y la vegetación, es así como por medio de estaciones

meteorológicas con un nivel de confiabilidad elevado dispuestos en diversas partes del planeta se pudo observar que las bases del SCH son concordantes con fenómenos visibles del orden natural, por esto se demuestra que son fidedignos.

Holdridge expreso también, que en cualquier división habitual del clima se encuentran cambios locales, en la vegetación y sus formas, supeditada a las características específicas del entorno (topografía, tipo de suelo, exposición y actividades tanto de la fauna como antrópica).

También explicó Holdridge, el vínculo entre los biomas y el clima existente, fuera del simple concepto de vegetación para incorporar otras asociaciones, como la fauna, y en algunos casos, la actividad antrópica en ciertas actividades socioeconómicas y culturales.

2.2.2. Diagrama Bioclimático

El SCH es expresado en un modelo matemático que cuenta con tres dimensiones (Figura 1), aquí se manifiesta que la interrelación de los factores determinantes del clima: temperatura (Biotemperatura), humedad ambiental (relacionado con la evapotranspiración potencial) y precipitación van a fijar la clasificación de todas las ZDV que pueden ocurrir a nivel mundial (más de 100). Cada hexágono que conforma el diagrama refleja el concepto básico de ZDV (ONERN, 1976). El grafico del SCH muestra la ubicación con respecto al clima de las ZDV en los pisos basales de seis regiones latitudinales, en base a la biotemperatura a nivel del mar, iniciando desde la línea Ecuatorial (cálido-Región Latitudinal Tropical) hasta los polos helados (Región Latitudinal Polar) de los hemisferios norte y sur. En la parte izquierda del diagrama se encuentran los límites condicionantes que corresponden a la biotemperatura para cada Región Latitudinal, en el margen derecho se señalan los límites concernientes respecto a la biotemperatura media anual y su correspondiente piso Altitudinal.

De esta forma, en la región tropical es posible encontrar una mayor cantidad de pisos altitudinales sobre el piso basal y estos van a disminuir de manera gradual con el incremento de la latitud hacia los polos. Así mismo, basados en el diagrama vamos a encontrar que las provincias de humedad se van a encontrar condicionadas por las líneas (límites) de la relación entre la biotemperatura y la precipitación, representados por la evapotranspiración potencial.

Para concluir este apartado, para precisar de manera directa la evapotranspiración total anual en milímetros, se encuentra al extremo derecho del diagrama, una escala vertical.

En la siguiente figura se presenta el diagrama bioclimático, donde es posible apreciar los pisos y regiones altitudinales, provincias de humedad, rangos de biotemperatura media anual, rangos de precipitación anual, ratio de evapotranspiración potencial y los hexágonos que representan las ZDV.

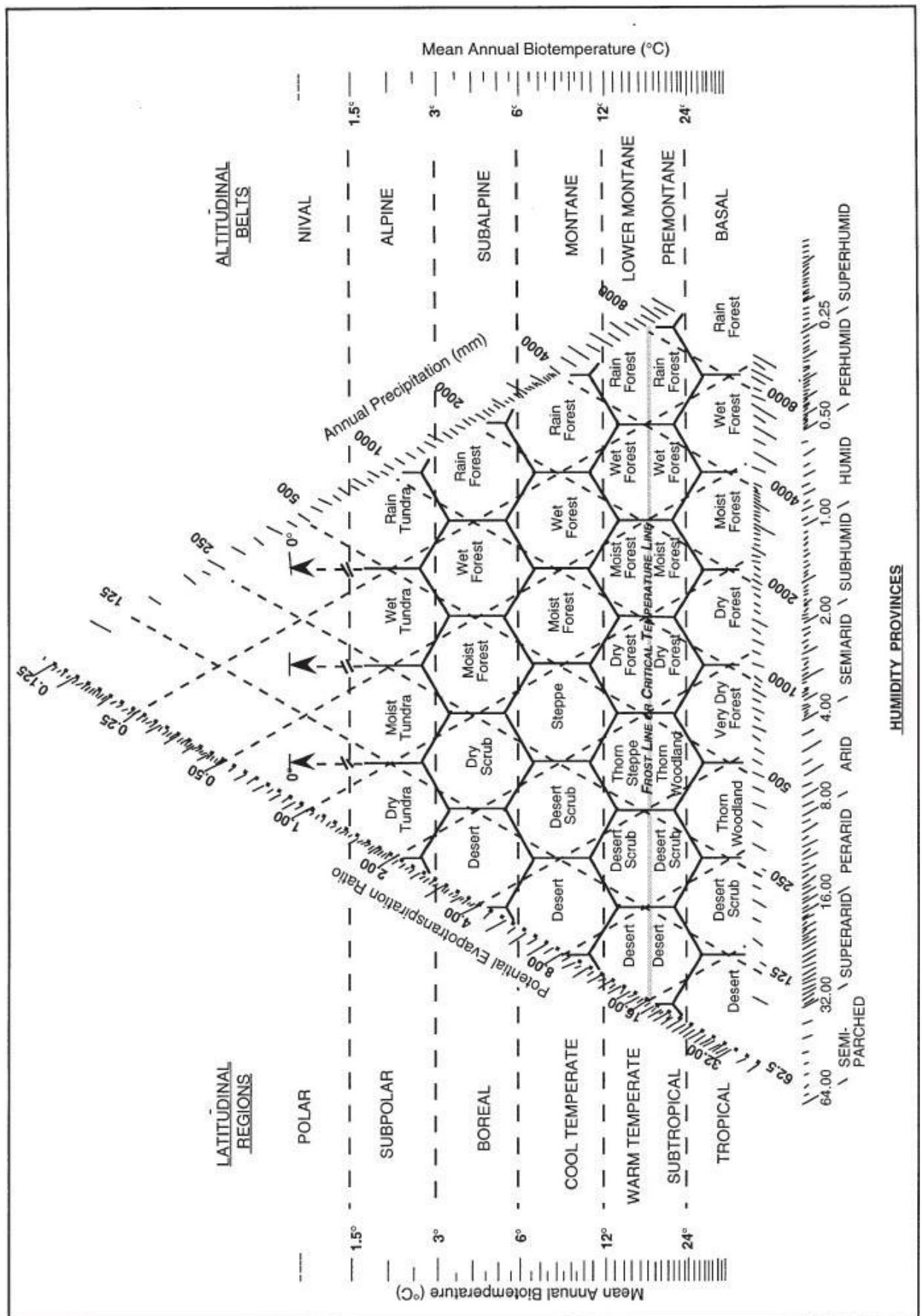


Figura 2: Diagrama bioclimático de (Holdridge, 1967) Obtenido de (ONERN, 1976).

2.2.3. Biotemperatura

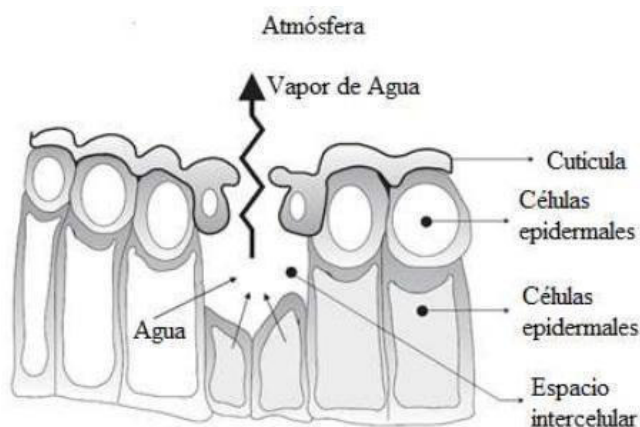
La idea de biotemperatura precisada de acuerdo a Holdridge nos señala que : “temperatura del aire, aproximadamente entre 0°C y 30°C, que determina el ritmo e intensidad de los procesos fisiológicos de las plantas (fotosíntesis de las plantas, respiración y transpiración) y la tasa de evaporación directa del agua contenida en el suelo y la vegetación.”

Para lograr la Clasificación de las ZDV, es necesario realizar ciertos cálculos en los que es partícipe la biotemperatura, por lo que debemos saber cómo obtenerla: se desarrolla la sumatoria de todos los registros de temperatura mayor a 0°C, determinada en las 24 horas del día, que es la manera más idónea, y se divide entra la misma cantidad de horas. Sin embargo, para alcanzar esta precisión se necesitan excelentes registros, por lo que otro modo de realizarlo es utilizar las temperaturas máximas y mínimas del día o mes (reemplazando con 0°C cualquier valor por debajo de este) y dividir el total entre dos. El promedio de un año va a ser determinado sumando los valores de las medias del día o mes y dividiendo la suma entre 365.25 o 12 meses, según corresponda (ONERN, 1976).

2.2.4. Evapotranspiración

Las plantas devuelven agua a la atmosfera de dos maneras: a partir de la evaporación, que sucede desde suelo con exceso de humedad y cuerpos de agua; asimismo a través de un proceso denominado transpiración. Las raíces absorben agua y demás nutrientes para luego ser transportada, en este desarrollo ocurre la evaporación, en los espacios intercelulares en el interior de las hojas. La permuta de vapor que se desarrolla entre las plantas y la atmosfera se aprecia en la figura N°3 (transpiración), el cual ocurre en las estomas (FAO, 2006).

Figura 3: Representación esquemática de un estoma, obtenido de FAO, 2006.



Según la Guía explicativa del Mapa Ecológico del Perú (ONERN, 1976), la evapotranspiración “viene a ser la cantidad de agua que sería evaporada directamente del suelo y otras superficies y la transpirada por la vegetación natural madura en un estado estable o clímax que se encuentra sobre un suelo Zonal de buenas características y con un contenido óptimo de humedad”, ver figura N°4. El cálculo de la evapotranspiración potencial total/año en mm se determina de dos maneras:

- De manera directa, siguiendo la fórmula de: $BT \times 58.93$ o siguiendo los parámetros del alineamiento vertical la misma que se encuentra al lado derecho del diagrama, paralelo a la escala de BioT media/año.
- Realizando la sumatoria de los datos de Evap. Potencial/mes, la misma que se haya multiplicando la BioT Media/mes por las constantes 5.00, 4.84 o 4.56, dependiendo de cuantos días tenga el mes.

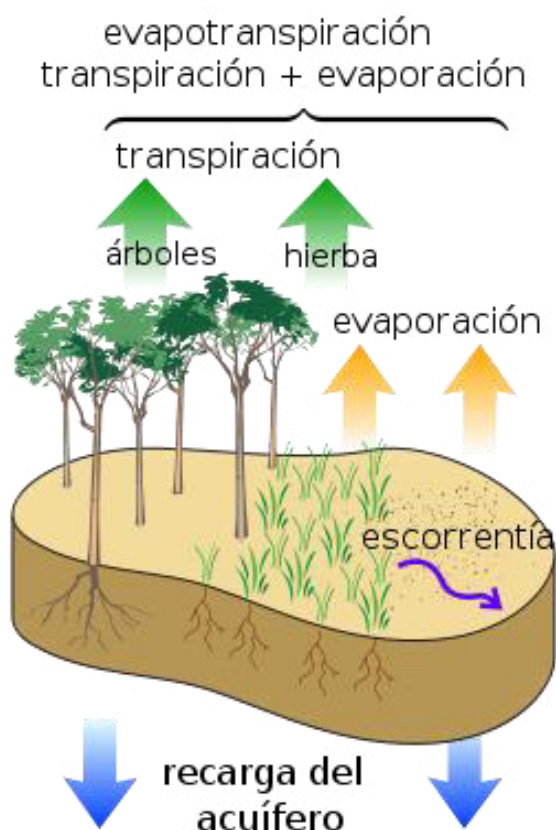


Figura 4: Esquema explicativo de la evapotranspiración. Obtenido de <http://vocabulariogeografico.blogspot.pe/2011/09/evapotranspiracion.html>

2.2.5. Precipitación

Los discernimientos sobre la precipitación la describen como “la humedad condensada que cae de la atmósfera sobre la superficie de la tierra bajo diferentes formas, como llovizna, chubasco, nieve, granizo, niebla, rocío, etc.”(ONERN, 1976). Cabe resaltar que según la Guía Explicativa del Mapa Ecológico del Perú, las precipitaciones percibidas por los pluviómetros no comprenden en sus resultados el agua condensada de manera directa en la vegetación, como rocío o que fueron originados por neblina y luego destila a la superficie (suelo o cuerpos), de ser el caso, en que las formas de lluvias antes descritas tengan una presencia significativa, se determinara la influencia y representatividad de estos para precisar en cada esta estación el promedio de precipitación total anual, además de ser apoyados por data de climatología de precipitación en alta resolución por satélite.

2.2.6. Humedad ambiental

La humedad ambiental de todas las ubicaciones es fijada por la relación entre los valores determinantes del clima: precipitación y biotemperatura y, por ende, si la medida de agua presente en el suelo es la apropiada, la tasa de evapotranspiración se incrementara cuando biotemperatura tenga un valor más elevado (ONERN, 1976).

De forma contraria a la biotemperatura y precipitación, la humedad ambiental no puede ser medida de manera directa. Pero Holdridge demostró que se puede realizar una interrelación climática siguiendo los valores de Evap. Potencial que se haya al dividir la Evap. Potencial total/año por la Pp. promedio anual (L. Holdridge, 1967).

En relación al diagrama bioclimático, las fajas de humedad que se muestran están delimitadas por unas líneas trazadas a escala logarítmica. Estas líneas tienen valores asignados, apreciándose que los mayores valores de 1.00 se hayan a la izquierda y los menores a la misma, a la derecha. Las provincias de humedad ubicadas al lado derecho del valor unitario son desde “húmedas” hasta “saturado” las situadas a la izquierda son las “secas”, “subhúmeda” hasta “desechado”. Por lo que se entiende que las ZDV que se hayan en las Provincias de Humedad encontradas a la derecha del valor unitario llueve mucho más de lo que se evapotranspira y, por ende hay pérdida de agua por escorrentía. A diferencia de estos, las ZDV que se hayan en las provincias de humedad ubicadas a la izquierda del valor unitario, precipita menos de lo que se evapotranspira y en resultado hay déficit de agua en el suelo.

2.2.7. Zonas de Vida

Definidas como “un grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, que se hacen teniendo en cuenta las condiciones edáficas y las etapas de sucesión, y que tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo” (Holdridge, 1967). La metodología de clasificación se basa en tres variables: la biotemperatura, la precipitación y la evapotranspiración resultado de la interacción de las dos primeras variables. En base a las variables y mediante algoritmos se clasifican las ZDV bajo el modelo del Holdridge.

2.2.8. Fajas altitudinales

Las fajas o pisos altitudinales se presentan cuando se asciende desde el nivel del mar hasta las cumbres más elevadas de las montañas y la temperatura media experimenta un descenso progresivo, al ocurrir esto surgen divisiones transversales en las montañas que son las mencionadas fajas altitudinales, estas son delimitadas por líneas de biotemperatura media anual que coinciden con determinadas alturas sobre el nivel del mar sol válidas localmente (ONERN, 1976).

Es posible determinar siete (07) fajas altitudinales según el rango de altitud, ver cuadro N°1.

Cuadro 1: Extensiones teóricas aproximadas de las Fajas altitudinales. Obtenido de (Saa, 1982).

Faja altitudinal	m.s.n.m.	Ámbito
Nival		
Alpino	4500–4750	250
Subalpino	4000–4500	500
Montano	3000–4000	1000
Montano Bajo	2000–3000	1000
Premontano	1000–2000	1000
Basal	0–1000	1000

2.2.9. Regiones latitudinales

Las regiones latitudinales son aquellas que aparecen al dividir cada hemisferio de la tierra (norte y sur), de manera gradual con respecto a la latitud, desde la línea ecuatorial hacia los polos, y también en relación a la temperatura, separándose las primeras 4 regiones cada 6°C, la siguiente en 3°C y las dos últimas cada 1.5°C, teniendo un rango entre 0°C – 30°C obteniéndose siete regiones latitudinales en el siguiente orden: tropical (30°–24°C), subtropical (24°–18°C), templada cálida (18°–12°C), templada fría (12°–6°C), boreal (6°–3°C), subpolar (3°–1.5°C) y polar (1.5°– 0°C).

Como es posible observar en el Cuadro N°2, al igual que las fajas altitudinales, existen siete (07) regiones latitudinales, determinadas por el rango de latitud en el que se encuentren.

Cuadro 2: Extensiones teóricas aproximadas de las Regiones Latitudinales. Obtenido de (Saa, 1982).

Región Latitudinal	Grados de Latitud	Ámbito
Polar	90°	22° 37.5'
Subpolar	67° 22,5'	3°37.5'
Boreal	63°45'	7° 15'
Templada fría	356° 30'	14° 30'
Templada cálida	42° 00'	14° 30'
Subtropical	27° 30'	14°30'
Tropical	13°00'	13°00'

En el siguiente cuadro, para cada Región Latitudinal, se ilustra los pisos o fajas altitudinales y sus equivalentes en fajas latitudinales.

Cuadro 3: Correspondencia según cada Región Latitudinal con cada Piso altitudinal en cada Faja Latitudinal

REGIÓN LATITUDINAL	PISOS O FAJAS ALTITUDINALES	EQUIVALENTE EN REGIONES O FAJAS LATITUDINALES
TROPICAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Piso Basal (a nivel del mar) 2. Piso Premontano 3. Piso montano bajo 4. Piso montano 5. Piso Subalpino 6. Piso alpino 7. Piso Nival 	Región Tropical Región Subtropical Región Templada Cálida Región Templada Fría Región Boreal Región Subpolar Región Polar
SUBTROPICAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Piso Basal (a nivel del mar) 2. Piso montano bajo Subtropical 3. Piso montano Subtropical 4. Piso Subalpino Subtropical 5. Piso alpino Subtropical 6. Piso Nival Subtropical 	Región Subtropical Región Templada Cálida Región Templada Fría Región Boreal Región Subpolar Región Polar
TEMPLADA CÁLIDA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Piso Basal (a nivel del mar) 2. Piso montano Templado Cálido 3. Piso Subalpino Templado Cálido 4. Piso alpino Templado Cálido 5. Piso Nival Templado Cálido 	Región Templada Cálida Región Templada Fría Región Boreal Región Subpolar Región Polar
TEMPLADA FRÍA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Piso Basal (a nivel del mar) 2. Piso Subalpino Templado Frío 3. Piso alpino Templado Frío 4. Piso Nival Templado Frío 	Región Templada Fría Región Boreal Región Subpolar Región Polar
BOREAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Piso Basal (a nivel del mar) 2. Piso alpino Boreal 3. Piso Nival Boreal 	Región Boreal Región Subpolar Región Polar
SUBPOLAR	<ol style="list-style-type: none"> 1. Piso Basal (a nivel del mar) 2. Piso Nival Subpolar 	Región Subpolar Región Polar

Es posible obtener este cuadro, disgregando los componentes de la Figura N°5, en la cual se encuentran las líneas guías que definen los límites de los pisos altitudinales y regiones latitudinales.

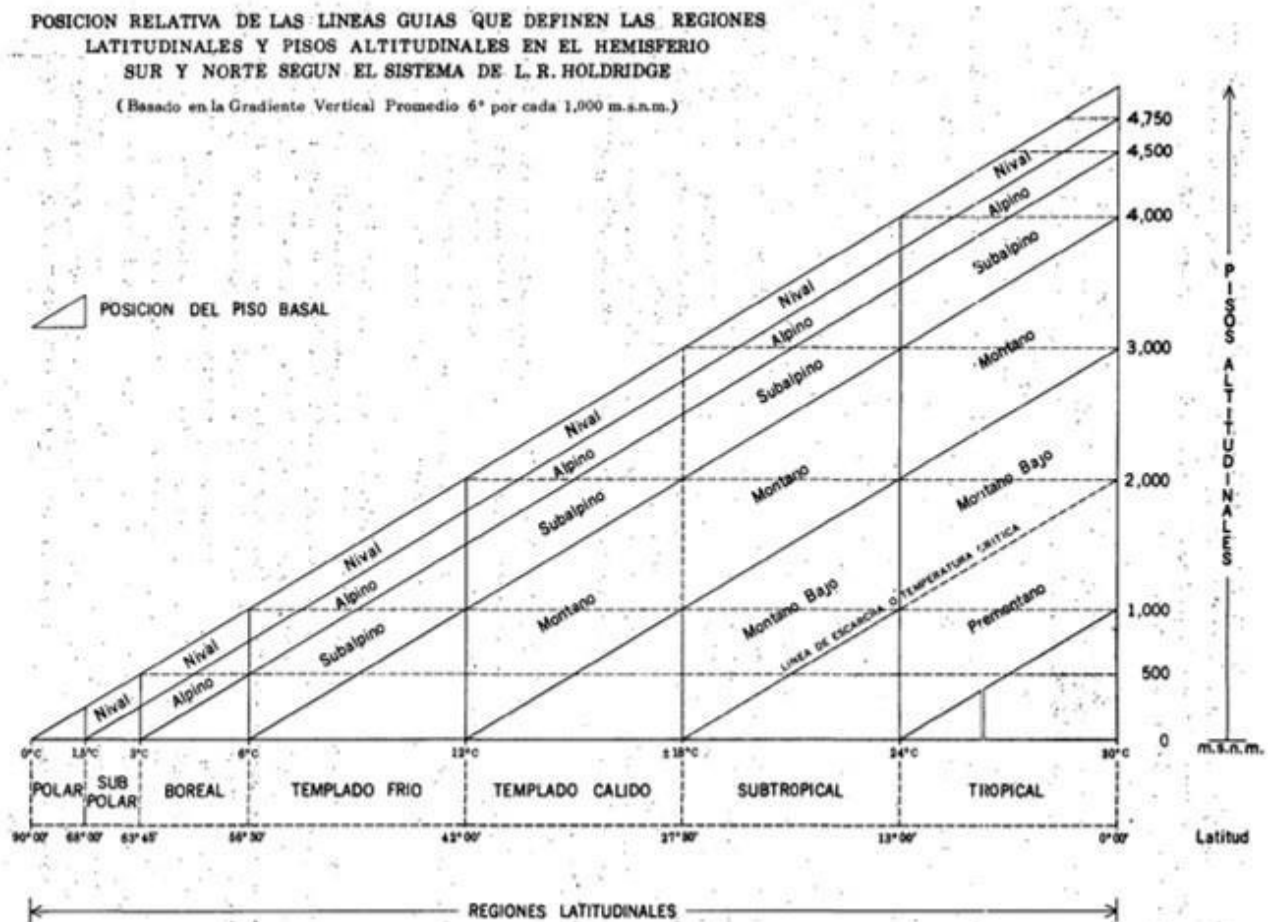


Figura 5: Ubicación referencial de las líneas guías que determinan las regiones latitudinales y pisos altitudinales en el hemisferio norte y sur de acuerdo al Sistema de Clasificación de Zonas de Vida de L. R. Holdridge (1967).

2.2.10. Provincias de humedad

Según la clasificación climática de Thornthwaite (1948) en “Los climas de América del Norte de acuerdo con una nueva clasificación.”, es una región en la que la eficacia de la precipitación de su clima produce un tipo definido de importancia biológica, en particular, el clímax climático de las formaciones de vegetación (la selva tropical, tundra, etc.).

Son Cinco las clases principales de provincias de humedad que se distinguen, delimitados por los valores de índice de efectividad de la precipitación (índice P-E):

1. húmedo bosque o la lluvia;
2. húmedo o bosque;
3. subhúmedo o pastizales;
4. semiárido o estepa;
5. árido o desierto.

En “Una aproximación hacia una clasificación racional de clima”, Thornthwaite (1948) utiliza valores de índice de humedad para limitar zonas similares, pero únicamente climáticas (no biológicas) como sigue:

1. per húmedo;
2. húmedo;
3. subhúmedo;
4. semiáridas y
5. áridos

Los climas húmedos son aquellos con un índice de humedad positivo; climas secos tienen valores negativos.

2.2.11. Balance Hídrico

Balance hídrico es el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan y salen de un sistema, en un intervalo determinado de tiempo. Entre ZDV natural o también entre lugares de una misma ZDV, se presentan condiciones de humedad de corto o largo periodo de duración debido ya sea a la amplia gama de variación entre los valores extremos de los parámetros climáticos o al ritmo e intensidad estacional de cada uno de los factores climáticos (biotemperatura y precipitación principalmente (ONERN, 1976).

Utilizando los datos de climatología como temperatura, precipitación y biotemperatura, a través de operaciones matemáticas básicas como suma y resta, es posible realizar el cálculo de la deficiencia o exceso de agua, así como de la precipitación, la esorrentía y la condición de humedad, también es factible evaluar la duración de esta última, durante el curso del año promedio para cualquier asociación climática en su estado natural estable. Podemos observar en la siguiente figura, los componentes para el cálculo del balance hídrico.

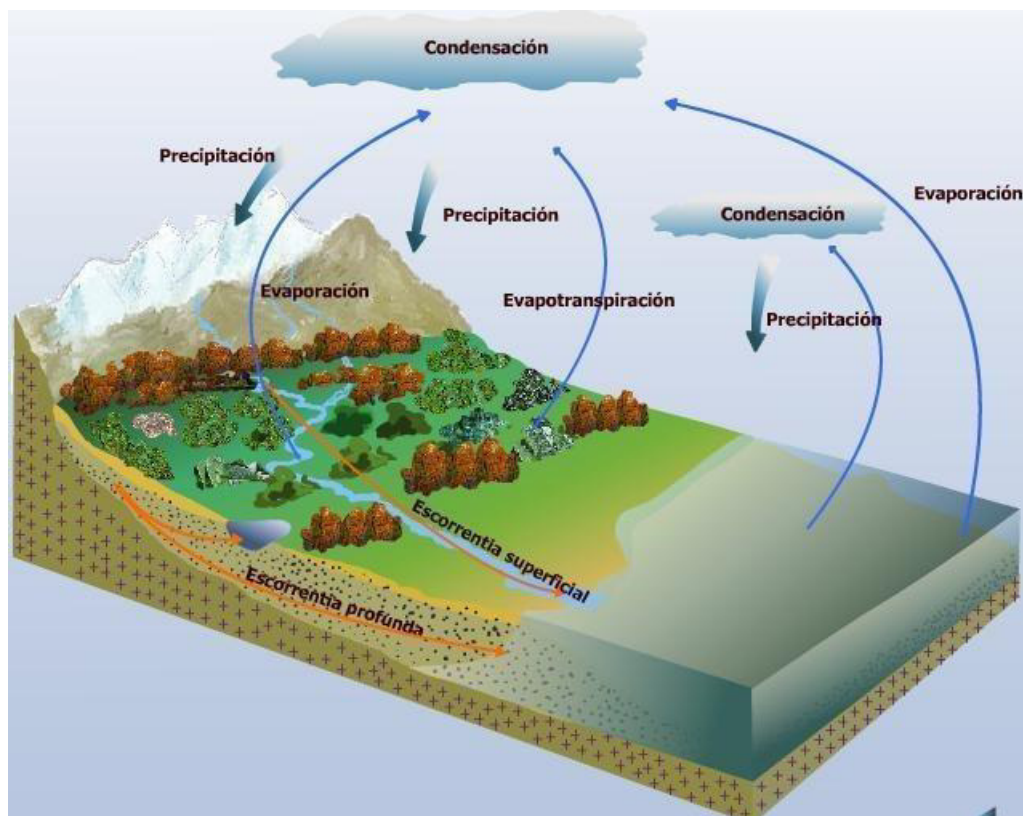


Figura 6: Ilustración del Balance hídrico. Obtenido de <https://pendientedemigracion.ucm.es/>

2.2.12. Cantidad de Zonas de Vida

El Mapa Ecológico del Perú en su primera versión elaborado por el Dr. Joseph Tossi, establece la distribución geográfica de 84 ZDV del Mundo del Dr. Leslie R. Holdridge, las cuales están enmarcadas en tres regiones latitudinales, que son las franjas: tropical, subtropical y templada cálida.

Las 84 ZDV del Mundo ubicadas en el Perú en mención son las siguientes: DESIERTOS

ZONAS DE VIDA	
A. DESIERTO DESECADO: a) Desierto Desechado Premontano Tropical b) Desierto Desechado Subtropical	c) Desierto Desechado Montano d) Desierto Desechado Templado
B. DESIERTO SUPERARIDO: a) Desierto Superárido Tropical b) Desierto Superárido Premontano	c) Desierto Superárido Subtropical d) Desierto Superárido Montano e) Desierto Superárido Templado Cálido

<p>A. DESIERTO PERARIDO:</p> <p>a) Desierto Perárido Premontano Tropical b) Desierto Perárido Subtropical c) Desierto Perárido Montano Bajo Tropical d) Desierto Perárido Montano Subtropical</p>	<p>e) Desierto Perárido Templado Cálido f) Desierto Montano Subtropical g) Desierto Perárido Montano</p>
<p>B. DESIERTO ÁRIDO:</p> <p>a) Desierto Árido Montano Tropical b) Desierto Árido Montano Subtropical c) Desierto Árido Montano Templado Cálido</p>	
<p>C. DESIERTO SEMIÁRIDO:</p> <p>a) Desierto Semiárido Subalpino Subtropical b) Desierto Semiárido Templado Cálido</p>	
<p>D. MATORRAL DESÉRTICO:</p> <p>a) Matorral Desértico Tropical b) Matorral Desértico Premontano c) Matorral Desértico Subtropical d) Matorral Desértico Montano Bajo Tropical e) Matorral Desértico Montano bajo Subtropical</p>	<p>f) Matorral Desértico Templado Cálido g) Matorral Desértico Montano Tropical h) Matorral Desértico Montano Subtropical i) Matorral Desértico Montano Templado Cálido j) Matorral Desértico Subalpino Tropical k) Matorral Desértico Subalpino Subtropical l) Matorral Desértico Subalpino</p>
<p>E. MONTE ESPINOSO</p> <p>a) Monte Espinoso Tropical b) Monte Espinoso Premontano Tropical c) Monte Espinoso Subtropical</p>	
<p>F. ESTEPA ESPINOSA</p> <p>a) Estepa Espinosa Montano Bajo Tropical b) Estepa Espinosa Montano Bajo Subtropical</p>	
<p>G. ESTEPA</p> <p>a) Estepa Montano Tropical b) Estepa Montano Subtropical</p>	
<p>H. BOSQUE MUY SECO</p> <p>a) Bosque muy seco tropical</p>	
<p>I. BOSQUE SECO</p> <p>a) Bosque Seco Tropical b) Bosque Seco Premontano Tropical</p>	<p>c) Bosque Seco Subtropical d) Bosque Seco Montano Bajo e) Bosque Seco Montano Bajo Subtropical</p>
<p>J. BOSQUE HÚMEDO</p> <p>a) Bosque Húmedo Tropical b) Bosque Húmedo Premontano Tropical c) Bosque Húmedo Subtropical d) Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical</p>	<p>e) Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical f) Bosque Húmedo Montano tropical g) Bosque Húmedo Montano Subtropical</p>

<p>A. BOSQUE MUY HÚMEDO</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Bosque Muy Húmedo Tropical b) Bosque Muy Húmedo Premontano Tropical c) Bosque Muy Húmedo Subtropical <p>B. BOSQUE PLUVIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Bosque Pluvial Premontano Tropical b) Bosque Pluvial Subtropical c) Bosque Pluvial Montano Tropical d) Bosque Pluvial Montano Bajo Tropical <p>C. PÁRAMO HÚMEDO</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Páramo Húmedo Subalpino Tropical b) Páramo Húmedo Subalpino Subtropical <p>D. PÁRAMO PLUVIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Páramo Pluvial Subalpino Tropical b) Páramo Pluvial Subalpino Subtropical c) Páramo Pluvial Semisaturado subalpino Subtropical. <p>E. PÁRAMO MUY HÚMEDO</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Páramo Muy Húmedo Subalpino Tropical b) Páramo Muy Húmedo Subtropical <p>F. TUNDRA HÚMEDA</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Tundra Húmeda Alpino Subtropical b) Tundra Húmeda Alpino Templado Cálido <p>G. TUNDRA MUY HÚMEDA</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Tundra Muy Húmeda Alpino Subtropical <p>H. TUNDRA PLUVIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Tundra Pluvial Alpino Tropical b) Tundra Pluvial Alpino Subtropical <p>I. NIVAL</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Nival Tropical b) Nival Subtropical c) Nival Templado Cálido 	<ul style="list-style-type: none"> a) Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Tropical b) Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical c) Bosque Muy Húmedo Montano Tropical d) Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical e) Bosque Pluvial Montano Subtropical f) Bosque Pluvial Semisaturado Subtropical g) Bosque Pluvial Semisaturado Bajo Subtropical h) Bosque Pluvial Semisaturado Subtropical
--	--

A continuación, se describirán las ZDV distribuidas según su ubicación en la Costa, Sierra o Selva del Perú, cuales son y sus principales características.

■ **Costa**

En esta parte encontramos principalmente la Zona de Vida de Desierto, en donde las temperaturas varían entre 12°C – 28°C, se hallan repartidas en todo el centro, parte del norte y sur. Las precipitaciones son mínimas ya que en esta región se encuentran las Provincias de humedad desecado, superárido y perárido, debido a esto la vegetación es muy escasa, a base de hierbas, gramíneas y cactáceas.

El uso agropecuario se da mayormente en valles costeros que disponen de riego permanente, aprovechando la topografía plana o ligeramente ondulada pero encontrando también la presencia de cerros de la Cordillera antigua de la Costa.

A los extremos norte y sur encontramos la siguiente Zona de Vida: Matorral desértico. Aquí observamos que la temperatura anual media es un promedio de 22.4°C, y las precipitaciones tienen un promedio mínimo de 130 mm anuales obteniendo la provincia de humedad “Desértico”.

El relieve topográfico es predominantemente suave a ondulado, permitiendo el cultivo de algodón, maíz, yuca y cítricos en partes donde existe disponibilidad de agua permanente. La vegetación está compuesta de algarrobos, sapote, bichayo y hualtaco; además de pastos naturales estacionales que se desarrollan en el periodo de lluvias, estos últimos sostienen en pequeña escala una actividad de ganado caprino y vacuno.

Finalmente, al extremo norte también se ubica la Zona de Vida denominada Monte espinoso. En esta parte la temperatura media anual mínima es de 23°C (Tumbes, Bagua) y las precipitaciones varían entre 162 mm – 790mm anualmente.

El relieve cambia de ondulado suave hasta colinas, cuya vegetación está compuesta por especies arbóreas, arbustos y cactáceas, entre estas encontramos ébano, madero negro, palo santo, ceibo entre otros.

■ **Sierra**

La mayoría de las ZDV localizadas en esta región son los Bosques, distribuidos a lo largo de toda la sierra con una temperatura que varía entre 12°C- 23°C y una precipitación promedio de

1200 mm, encontraremos provincias de humedad desde semiárido hasta “Superhúmedo”.

La configuración topográfica es extremadamente accidentada, formada por laderas con muy pocas tierras de pendiente suave, posee bosques naturales de gran altura, revestidos de líquenes, musgos, helechos, orquídeas; también posee vegetación herbácea y arbustiva. El uso agropecuario se da en valles y terrazas bajas, que producen tubérculos, frutas como la papaya y el plátano, maíz, coca entre otros. En algunas zonas muy accidentadas no se tiene potencial para desarrollar la agricultura por lo que en estos casos las tierras deben ser relegadas a Bosque de Protección.

La siguiente Zona de Vida que se presenta es el Páramo, distribuida desde el centro hacia el sur, cuyas temperaturas son bajas (biotemperatura media anual entre 3°C y 6°C) y precipitaciones varían entre 2000 y 4000 mm anuales lo que los ubican en la provincia de humedad “Semisaturado”.

Posee topográfica accidentada con algunas laderas un tanto suave, en la que se presenta vegetación arbustiva y herbácea. Esta Zona de Vida no tiene uso pecuario ni forestal debido a sus limitaciones climáticas y topográficas.

A continuación, otra Zona de Vida de las más observadas es el Matorral desértico al sur de la Sierra, presentando una temperatura media anual que varía entre 3°C y 6°C, y un promedio de precipitación entre 125-250 mm anuales. Esta Zona de Vida se ubica en la provincia de humedad “Subhúmedo”.

El relieve es quebrado y colinado, encontrándose en terrenos peñascosos quinuales y en el piso superior e intermedio, yareta. Estas áreas presentan gramíneas perennes utilizados para pastoreo temporal.

En menor proporción (de manera visual) se pueden localizar tundra, estepa, desiertos, monte y piso Nival.

■ **Selva**

En la Selva se puede apreciar (visualmente) que todo el terreno pertenece a la Zona de Vida de Bosque, donde la temperatura media anual mínima es de 24°C (Loreto, Atalaya, Iquitos) y tiene un promedio de precipitaciones anuales de 3500 mm, perteneciendo a la provincia de humedad “Húmedo”.

La topografía es ondulada o colinada, posee un bosque alto, exuberante, tupido y cargado de

bromiliáceas, orquídeas, lianas y bejuco, gran variedad de helechos, líquenes y musgos. Existen zonas hidromórficas denominadas Aguajales, donde predomina el aguaje y huasai. En esta Zona de Vida se lleva a cabo la actividad pecuaria sobre las terrazas altas no inundables y también se realiza extracción de madera. Es posible observar también ZDV como Monte y Páramo.

2.3. El Cambio Climático

2.3.1. Calentamiento Global

El calentamiento global es definido como un fenómeno observado que registra un aumento de la temperatura promedio de la atmósfera terrestre y de los océanos ocasionados fundamentalmente por acción del hombre (PNUD, 2007)

El cambio climático es descrito como la variación en la estabilidad climática, de manera que estas alteraciones acontecen con una duración prolongada, habitualmente décadas o ciclos mayores, aislando factores como el antrópico o cambios en la naturaleza y sus componentes, esto es posible de reconocer mediante variaciones en los valores medios o cambios en sus características. (IPCC, 2007).

2.3.2. Desertificación

La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación define este proceso como “la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultantes de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas”. Por su parte, la degradación de las tierras se define como la reducción o pérdida de productividad biológica o económica de las tierras (UNCCD, 1994).

2.3.3. El efecto invernadero

Efecto por el cual la temperatura del planeta va ascendiendo gradualmente por la presencia de una serie de gases en el aire, los mismos que retienen el calor e impiden su paso al exterior. Al encontrarse los GEI (gases de efecto invernadero) en el ambiente, estos van a difundir en la atmosfera el calor que han conservado, ocasionando un incremento en la temperatura. Existe una relación directamente proporcional, ya que a mientras aumente la cantidad de GEI en la atmosfera, también será mayor la energía que estos puedan captar, teniendo como resultado

un planeta más caliente (Hernández, 2001).

2.3.4. Las inundaciones

Definido como: “aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”. Donde, “nivel normal” se entiende la elevación de la superficie del agua que no causa, es decir, inundación es la elevación que sobrepasa lo habitual en el cauce, la misma que puede generar pérdidas. (OMM/UNESCO, 1974), a su vez en la directiva del parlamento europeo relativa a la evaluación y gestión de riesgo por inundación, la definen como el anegamiento temporal del área de un terreno que normalmente no está cubierto por agua. Incluye las inundaciones ocasionadas por ríos, torrentes de montaña, corrientes de agua y las inundaciones causadas por el mar en la zonas costeras y puede excluir las inundaciones de las redes de alcantarillado (DPE, 2007).

2.4. Sistemas de información geográfica en SIG

Una de las aplicaciones actualmente más usadas por los Sistemas de Información Geográfica (SIG) recaen sobre las ciencias ambientales junto a la planificación del territorio y la administración de los recursos naturales (RRNN) (Martin, 1985) (Bocco, 2000). Por lo que el aprender el uso de la información y las técnicas por medio de los SIG, resultan importantes en la formación de una disciplina medio ambiental. Por otro lado, Chuvieco (2002) dice, los SIG son sólo herramientas para la mejor gestión de la información disponible del territorio. Olaya, 2012 refiere que los SIG facilitan desarrollar las siguientes acciones:

- Lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales.
- Análisis de dichos datos. Esto puede incluir desde consultas sencillas a la elaboración de complejos modelos, y puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (la localización de cada valor o elemento) como sobre la componente temática (el valor o el elemento en sí).
- Generación de resultados tales como mapas, informes, gráficos, etc.

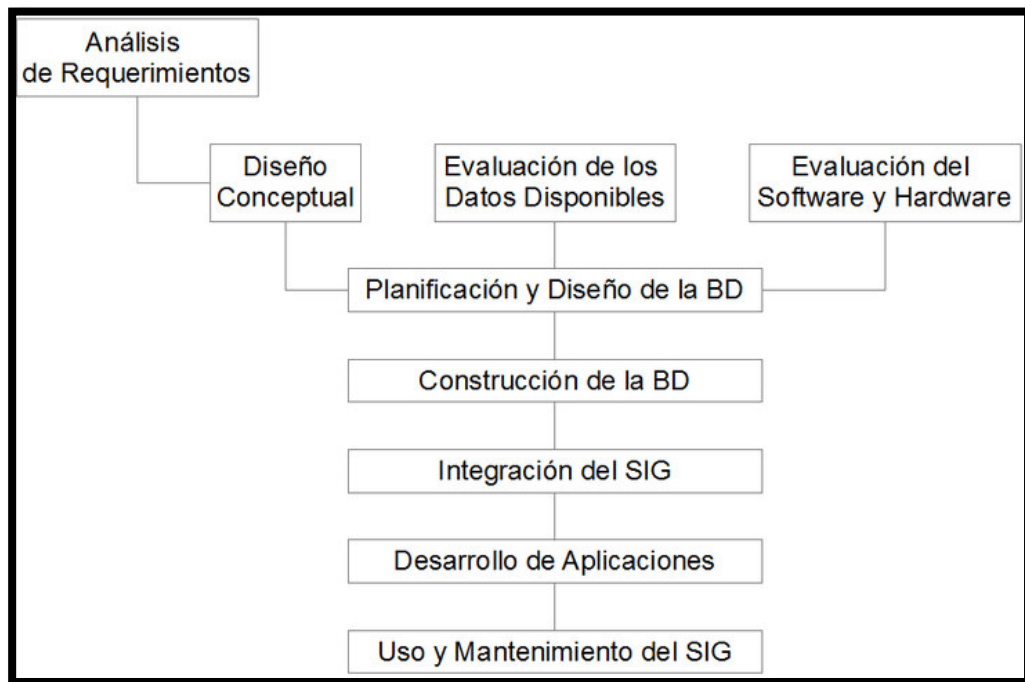


Figura 7: Etapas de un desarrollo SIG, según [GIS Development Guides](#). Obtenido de Marco de Desarrollo de la Junta de Andalucía.

2.4.1. Percepción Remota

La percepción remota o teledetección se define como la ciencia que permite extraer información de un objeto sin la exigencia de tener contacto físico con este, estudiando los datos adquiridos por medio de algún artefacto o dispositivo. La percepción remota es capaz de obtener datos originados en la distribución o cambios de diferentes fuerzas (gravedad, magnetismo), de energía electromagnética u ondas acústicas (Campbell, 1987).

La técnica mencionada es de gran ayuda a la investigación puesto que se puede abarcar una gran área de estudio sin tener que hacerla in situ, más se debe hacer un muestreo para realizar correcciones y/o validaciones.

2.4.2. Sensor Remoto

Obtiene información de la superficie terrestre sin requerir contacto. Se traslada en múltiples medios: satelital, aérea o terrestre. (PUCC, 2008)

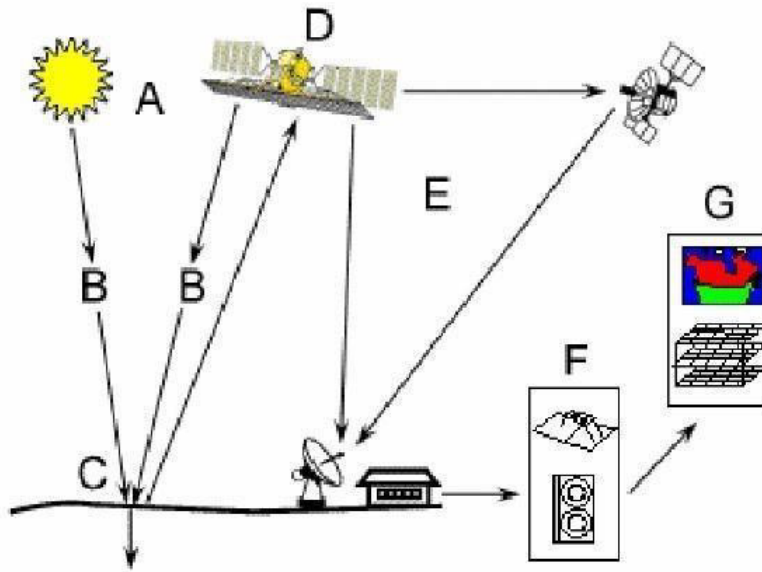


Figura 8: Obtenido de Conceptos Generales de Sensores Remotos. Pontificia Universidad Católica de Chile 2008

Dónde:

- | |
|--|
| <p>A) Fuente de energía, pasiva o activa</p> <p>B) Trayectoria y su interacción con la atmósfera</p> <p>C) Incidencia en la superficie terrestre</p> <p>D) Satélite</p> <p>E) Ciclo de toma y descarga de datos</p> <p>F) Estación terrena de pre proceso</p> <p>G) Información al usuario</p> |
|--|

2.4.3. Sensor Espectro radiómetro para Imágenes de Resolución Moderada (MODIS)

El detector Espectro radiómetro para Imágenes de Resolución Moderada (MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer*), es el sensor más completo en el Sistema de Observación en la tierra de la NASA (EOS - Earth Observing Systems), de los satélites AQUA y TERRA, enviados a misión en el año 1999 y 2002 correspondientemente. La trayectoria de dichos satélites se halla a una altura cercana a los 705 km desde la tierra. Es posible conseguir imágenes a paso diario de toda la superficie terrestre, cuenta con un haz de visualización con un ancho de 2,330 km en 36 fajas espectrales y cuatro resoluciones espaciales de 5,600 m (0.05°), 1000m (8-36 bandas), 500 m (3-7 bandas) y 250 m (1-2 bandas). (Rodríguez, 2005).

MODIS fue diseñado para servir a la comunidad científica como fuente de estudio de la organización de la tierra y sus variaciones cronológicas y regiones geo-físicas por medio de la recopilación anual de datos, originándose el inicio de los sensores hiperespectrales. Brinda un

considerable volumen de productos catalogados como marinos, atmosféricos y terrestres. A su vez es posible obtener la información obtenida de forma cruda (bandas espectrales), que se transmiten proveniente del sensor a las estaciones en tierra en White Sands, Nuevo México, por medio del seguimiento y retransmisión de datos desde el sistema de satélites TDRSS, y que finalmente sus resultados a distintos grados de procesamiento son asequibles en forma gratuita a través de internet para cualquiera que los necesite. (Chuvieco, 2008).

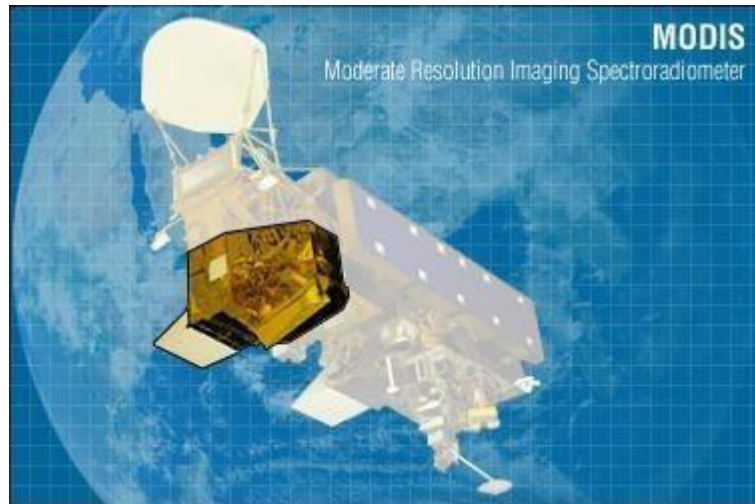


Figura 9: Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer (MODIS)

2.4.4. Características y especificaciones

Los sensores MODIS TERRA y AQUA tienen orbitas helio sincrónicas y cuasi polar con una inclinación de 98° y 98.2° y a una altitud de 705 y 708 km respectivamente, monitorean la superficie terrestre 1 o 2 días en base al grado de latitud en que se encuentren. Posee una alta sensibilidad radiométrica (12 bits), en 36 bandas espectrales, su longitud de onda varía en un rango que va de los $0,4\mu\text{m}$. a los $14,4\mu\text{m}$ (T. García, 2011).

MODIS ofrecen unos datos de tres diferentes dimensiones de información originada del sensor (Hinkley, 2011)

- 1) Espectral: a partir de la determinación de la reflectancia sobre la superficie.
- 2) Temporal: análisis a través del tiempo gracias a una alta resolución temporal.
- 3) Angular: gracias al buen ancho de haz que posee el sensor MODIS, se posibilita obtener datos consecutivos del mismo píxel tomado como muestra en diferentes formas objeto-sensor-sol, es decir, la observación a diferentes ángulos contiene registros agregados a la alcanzada solo en el nadir o en un solo ángulo.

2.4.5. Productos MODIS

La data proveniente del sensor MODIS es usada por la comunidad científica, de esta data se obtienen productos los cuales deben comprobarse, mediante comparaciones con data tomada de forma insitu, en puntos de control o prueba y con data proveniente de otros sensores como Ikonos, AVHRR, TM/ETM+, ASTER y con data obtenida de forma independiente (T. García, 2011).

La información resultante se basa en una red sinusoidal la misma que se organiza por rejillas de 1,200 x 1,200 km ($10^\circ \times 10^\circ$ al ecuador), cada cuadrícula se le conoce como “tile” y se hallan ordenados por columnas (h) y filas (v) esta red contiene 460 tiles de los cuales 188 están en blanco es decir sin información 132 muestra información únicamente de agua y los 275 restantes contienen información de la tierra. Las coordenadas de los tiles empiezan desde (0,0), horizontal y vertical, hasta la más alejada del origen con coordenadas (37,17). (USGS, 2011). A

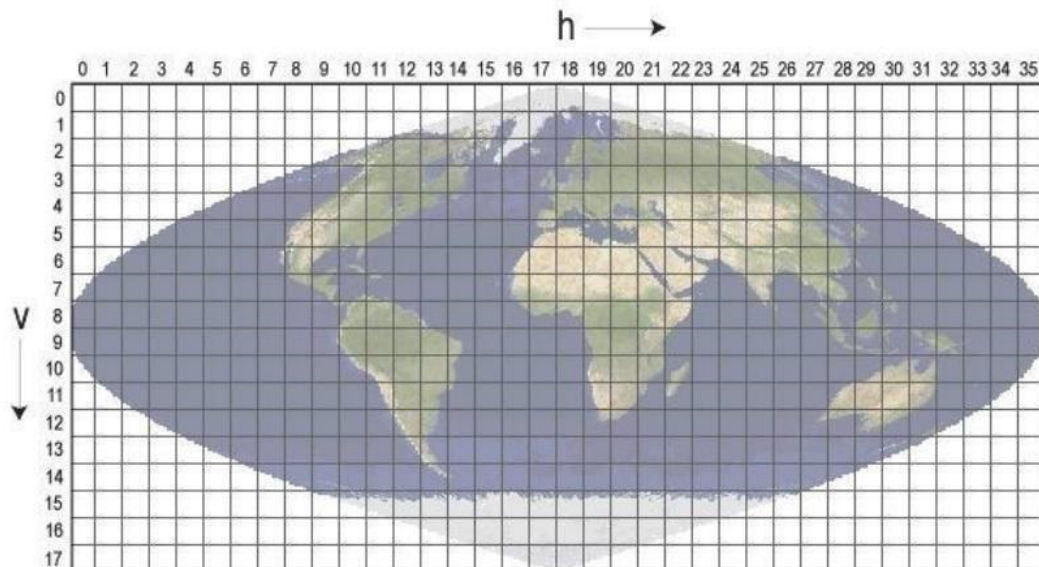


Figura 10: Red sinusoidal del MODIS. Fuente: (USGS, 2011)

2.4.6. Niveles de procesamiento de los datos MODIS

La elaboración de los productos sigue una serie de procesos. Las fases están divididas en 5 niveles (0-4) en función al grado de procesamiento realizado (François, 2011):

- Nivel 0: dispone de datos en crudo sin ningún tratamiento y solo la información de sincronización y los encabezados de comunicación con el satélite y la estación han sido eliminados.
- Nivel L1: Contiene los datos de geolocalización (MOD03), es decir, las coordenadas geodésicas, información sobre la elevación del terreno, máscara de tierra/agua, ángulo de elevación, cenit y azimut del satélite y del sol.
- Nivel 1A: productos utilizados para la geolocalización, la calibración y el procesamiento. Contiene los niveles de radiancia (MOD01), de las 36 bandas espectrales, junto con datos auxiliares del sensor y satélite.
- Nivel 1B: Imagen radiométrica corregida y calibrada a unidades físicas. Contiene las radiancias y geolocalización (MOD02), para las bandas generadas por el nivel 1A.
- Nivel L2: productos generados a partir de los productos del nivel L1B aplicando correcciones atmosféricas y algoritmos bio-ópticos.
- Nivel L2G: producto generado con datos obtenidos durante un periodo fijo de tiempo (12 o 24 horas), posteriormente agrupados en una cuadrícula de 1,200 x 1,200 km. Contienen variables geofísicas proyectadas en una malla uniforme.
- Nivel L3: productos derivados de variables geofísicas mapeadas, con resoluciones temporales de 1, 8, 16 y 30 días. Algunos productos son reflectancia 36 (MOD09), índices de vegetación (MOD13), temperatura y emisividad de la superficie terrestre (MOD11) y puntos de calor de incendios (MOD14).
- Nivel L4: productos generados por la incorporación de los datos MODIS en modelos para así estimar variables geofísicas, son generados usando productos de nivel 2 y datos auxiliares. Ejemplo: índice de área foliar/fracción de radiación activa fotosintética (MOD15), coberturas de suelo (MOD12) y producción primaria (MOD17).

2.4.7. Producto MOD 11: temperatura y emisividad de la superficie terrestre

Los productos provenientes del MOD11 nos das fundamentalmente estimaciones de emisividad diurna, temperatura y emisividad nocturna de la superficie de la tierra. Dichas temperaturas en °K se dan al chocar la atmosfera y la cobertura. A su vez se advierte que la emisividad tiene un valor adimensional que es equivalente a la división de la radiación de un objeto y un cuerpo negro con la misma T° .

Se usa una ecuación que nos ayuda a determinar la emisividad y la T° a partir de imágenes nocturnas y diurnas tomadas a condiciones ideales con cielo despejado utilizando bandas térmicas (bandas 20, 22, 23, 29, 31, 32 y 33) y 7 Bandas de infrarrojo medio en cualquier parte de la cobertura terrestre (Wan, 1999).

En base a la cobertura del suelo que señala el producto MOD12, el algoritmo calcula la temperatura mediante la diferencia lineal entre la temperatura de brillo de las bandas 31 y 32. El algoritmo incluye el ángulo de observación y el vapor de agua, entre otros. De la misma manera, la emisividad se calcula tomando en cuenta la cobertura indicada por el producto MOD12 (Petitcolin & Vermote, 2002). Se llevaron a cabo campañas de validación en la estimación de temperaturas en áreas homogéneas en diferentes tipos de coberturas y mostraron un buen ajuste, con diferencia de menos de un grado para temperaturas entre -10 y 50° C (Wan Z, Zhang Y, Zhang Q, 2004).

Los productos MOD11 son producidos con una resolución espacial de 1,000 m con base diaria y cada 8 días (MOD11A1 y MOD11A2). También existen productos con resolución de 6,000 m (MOD11B1) y 0.05 grados (MOD11C1 y MOD11C2). Los productos MOD11 proporcionan temperaturas diurnas y nocturnas de la superficie, la calidad de las estimaciones de ambas temperaturas, la hora y el ángulo de la toma, la emisividad en las bandas 31 y 32 y las condiciones atmosféricas diurna y nocturna. Los productos de más baja resolución espacial presentan la emisividad en las bandas 20, 21, 23 y 29. (Francois, 2011).

Cuadro 4: Productos de temperatura y emisividad MOD11. (Francois, 2011)

CLAVE	MOD11_L2	MOD11A1	MOD11B1	MOD11A2	MOD11C1	MOD11C2	MOD11C3
Plataforma	Terra, Aqua	Terra, Aqua	Terra, Aqua	Terra, Aqua	Terra, Aqua	Terra, Aqua	Terra, Aqua
Resolución temporal	escena	diario	diario	8 días	diario	8 días	mensual
Resolución espacial	1000 m	1000 m	6000 m	1000 m	0.05°	0.05°	0.05°
Extensión espacial	escena	Tile	Tile	Tile	CMG	CMG	CMG
Nivel	L2	L3	L3	L3	L3	L3	L3
Versión	5	5	5	5	5	5	5
Fase de validación	2	2	2	2	2	2	2
Tamaño del archivo (MB)	6	4	0 . 4	5	5 0	7 0	8 0
Número de capas	9	12	18	12	16	17	17
Fecha de inicio de producción (Terra y Aqua)	5/3/2000 4/7/2002	5/3/2000 8/7/2002	5/3/2000 8/7/2002	5/3/2000 4/7/2002	5/3/2000 8/7/2002	5/3/2000 4/7/2002	5/3/2000 1/7/2002

2.5. Geoestadística

Es una rama de la estadística que estudia procesos aleatorios con datos geográficos o espaciales, o dicho de otra manera analiza datos georreferenciados (Noel Cressie, 1991).

2.6. Predicción Espacial Óptima

Es la predicción de algún parámetro a partir de muestras observadas, las cuales dependen de la localización de donde fueron obtenidas. También llamado Kriging, según Matheron (1963).

2.7. Covariable

Es una variable independiente que junto a una o más variables (grupo de tratamiento) ayuda a describir el comportamiento de una variable respuesta continua. Usualmente estas no son controladas durante la formación de la base de datos, y nos ayudan a mejorar la precisión de un modelo y por ende, los resultados (Proyecto de Cooperación UE- CAN en Materia de Estadísticas.2007)

2.8. Definición de Kriging.

Derivado del nombre del geólogo sudafricano D. G. Krige, quien realizo los primeros trabajos de predicción en la década del cincuenta, considerados como precursor en el diseño y uso de métodos de interpolación espacial. En palabras de Giraldo (2002) “*Kriging encierra un conjunto de métodos de predicción espacial que se fundamentan en la minimización del error cuadrático como medio de predicción.*” Kriging se basa en un principio: las muestras más cercanas al punto materia de predicción contribuirán más, por lo que se deben ponderar distinto, basándonos en la distancia. En la siguiente tabla se aprecian los tipos de predictores utilizados en Kriging y sus principales propiedades.

Cuadro 5: Tipos de predictores kriging y sus propiedades. (Giraldo, 2002)

TIPO DE PREDICTOR	NOMBRE	PROPIEDADES
LINEAL	<ul style="list-style-type: none">• Simple• Ordinario• Universal	<ul style="list-style-type: none">• Son óptimos si hay normalidad multivariada.• Independiente de la distribución son los mejores predictores linealmente insesgados.
NO LINEAL	<ul style="list-style-type: none">• Indicador• Probabilístico• Log Normal, Trans-Gaussiano• Disyuntivo	<ul style="list-style-type: none">• Son predictores óptimos.

2.9. Técnicas de Fusión Satélite - Estación Meteorológica

Técnicas que facilitan el acoplamiento de información satelital con la información obtenida de estaciones meteorológicas, dichas técnicas surgen a partir de modelos de predicción espacial. Se deben comparar 5 métodos de fusión Satélite -Estación meteorológica (S-E): 1) Modelado lineal o corrección de tendencia multiplicativa media (LM), 2) Ponderación de distancia inversa residual (RIDW), 3) Kriging ordinario (OK), 4) Kriging ordinario residual (ROK) y 5) Kriging con deriva externa (KED). En el contexto de estos métodos, OK representa un indicador solo de interpolación sin datos satelitales.

- 1) Modelado Lineal (LM)/ Corrección de polarización multiplicativa media: las estimaciones de los datos satelitales se extraen de las muestras de las estaciones en las mismas ubicaciones y se ajusta a un modelo de regresión lineal utilizando la estimación de los mínimos cuadrados en todos los pluviómetros para explicar las observaciones de estos en términos de estimaciones satelitales (Manz, 2015).

$$Z_g = aZ_{z,g} + b$$

Donde Z_g son los valores de las estaciones, $Z_{z,g}$, las estimaciones de los satélites en las localizaciones de las estaciones. El modelo lineal puede ser visto como una combinación de una corrección de sesgo multiplicativo (a través del coeficiente a) y una corrección del sesgo aditivo (a través de la intercepción b). El análisis exploratorio del coeficiente de determinación mostró que la fijación de la intersección ($b=0$) mejoro el rendimiento del modelo lineal. Esta configuración se utilizó en la fusión S-E. de este modo, el modelo lineal es efectivamente una corrección de sesgo multiplicativo. (Manz, 2015)

- 2) Ponderación de Distancia Inversa Residual (RIDW): la diferencia (residual) entre las estimaciones de satélites y las observaciones de pluviómetros se calcula en cada ubicación de la estación. Se hace un cálculo de interpolación de los residuos usando la ponderación de distancia inversa (IDW) y la superficie residual interpolada se agrega de nuevo a las estimaciones de satélites. En contraste con los métodos Kriging, IDW no considera explícitamente la estructura del error espacial, sino que simplemente interpola como una función directa de la distancia. No obstante, se ha demostrado que el enfoque es comparable al Kriging de regresión para terrenos complejos si existe una densidad de red de alto calibre

(Dinku, T., 2010).

- 3) Kriging Ordinario (OK): el Kriging interpola las ubicaciones de pluviómetros usando un proceso gaussiano guiado por una estructura de covarianza espacial determinada a priori. OK proporciona la mejor estimación lineal imparcial de las ubicaciones sin ajustar. Por lo tanto, se supone que (a) la lluvia interpolada puede caracterizarse como una variable aleatoria estacionaria con un valor desconocido y (b) la precipitación puede ser representada adecuadamente por una distribución normal (Gaussiana).(Manz, 2015).
- 4) Kriging Ordinario Residual (ROK): en ROK, los datos de las estaciones y los datos de los satélites se transforman en un estado normal y se ajusta un modelo lineal para explicar las observaciones de los indicadores en función de las estimaciones de satélites comparados. Los residuos de este modelo se interpolan posteriormente en toda cuadrícula utilizando OK, como se ha descrito anteriormente, antes de que se añadan de nuevo al modelo lineal de estimación para cada celda de la cuadrícula. La estimación combinada (modelo lineal + residuos) se transforma de nuevo.(Manz, 2015).
- 5) Kriging con Deriva Externa (KED): en contraste con OK, KED asume la no estacionaria que puede ser representada por una variable secundaria (es decir, TPR). La elección de adecuación de la variable secundaria puede determinarse mediante un análisis de correlación espacial entre las observaciones de la variable y del indicador.(Manz, 2015)

En una fusión separada de KED, se debe emplear el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del espectro radiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) con un término de deriva adicional en combinación con TPR (en lo sucesivo KED TN para KED TPR NDVI). Se ha demostrado que la respuesta de la vegetación (en términos de NDVI) es un indicador adecuado de precipitación en escalas de tiempo mensuales con retrasos de hasta 2-3 meses (Hunink, J. E., 2014).

Una limitación a los enfoques Kriging surge cuando hay grandes regiones no calibradas, ya que la estimación de Kriging converge a la media del campo de precipitación a distancias más allá del rango del semivariograma. Por lo tanto, los resultados de OK más allá del rango del semivariograma máximo (aproximadamente 185 km) se eliminan. Las estimaciones sobre el océano (independientemente de la distancia media) se eliminan para todos los métodos excepto el TPR. (Manz, 2015).

2.10. Hipótesis

2.10.1. Hipótesis General

El uso de imágenes satelitales, técnicas geoestadísticas y mayor densidad en la red meteorológica posibilitan una mejor determinación del Mapa de ZDV de Holdridge en la Vertiente del Pacífico - Perú

2.10.2. Hipótesis Específica

- La base de datos apoyada en Sensoramiento remoto permitirá obtener información de precipitación confiable, así como sus patrones y variabilidad espacial.
- La variabilidad espacial de la temperatura podrá ser obtenida eficientemente usando imágenes satelitales MODIS.
- La utilización de covariables mejora la calidad de los datos para la determinación del Mapa de ZDV.
- El reconocimiento de áreas naturales protegidas inmersas en Zonas de vida, nos permitirá obtener información en la toma de decisiones que puedan favorecer la preservación de la biodiversidad.

2.11. Identificación de variables

a) Variable independiente

Técnicas de Sensoramiento remoto y Geoestadística.

b) Variable dependiente

Determinación del Mapa de Zonas de Vida de Holdridge en la Vertiente del Pacífico Perú.

3. Metodología

3.1. Construcción de la base de datos

TEMPERATURA

Se usó la data de 79 estaciones que se encuentran dentro de la vertiente del Pacífico, la cual proporciono datos de temperaturas máximas y mínimas en un periodo de 35 años (1981-2015)

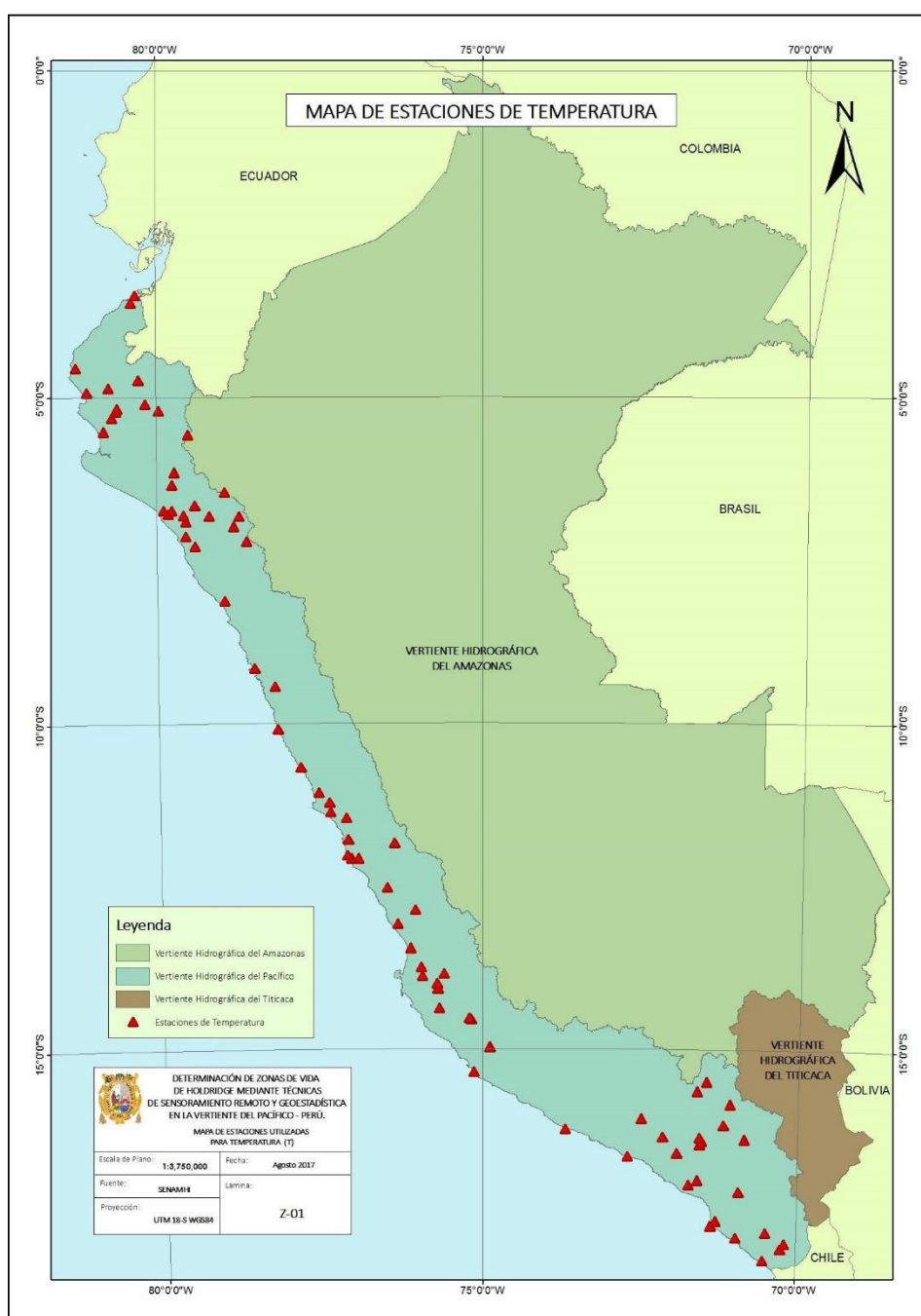


Figura 11: Estaciones con Data de temperatura (1981-2015) Fuente: SENAMHI

Debido a la poca cantidad de estaciones con data de temperatura en la vertiente del pacífico es necesario apoyarse en la teledetección mediante las imágenes MODIS, ya que al estar tan lejanas las estaciones entre sí, hacer una predicción espacial con solo la data de estaciones traería como consecuencia errores y resultados poco fiables.

La variación de la temperatura dentro de un espacio determinado está regida por procesos físicos. Como ejemplo tenemos que la temperatura superficial en alguna “ubicación” en el espacio está determinada en función a la radiación solar entrante ($S_0, t_0 - s \in S, t \in T$), Factor de refrigeración por vientos, efectos costeros, tierra cubierta, inversión de temperatura y otros efectos. Dichos patrones de temperatura varían entre día y noche, Además, Los principales factores que determinan la temperatura en la noche son la cobertura del suelo, la humedad del aire y la proximidad hacia cuerpos de agua y/o humedad del suelo (Leeuwen et al., 2011). En zonas urbanas e industriales, la temperatura local es ligeramente más alta debido a la emisiones de las actividades industriales y a la calefacción (Cheval S, 2009).

Por lo tanto, se puede decir que la temperatura superficial está en función de:

$$T(S_0, t_0) = \begin{cases} \text{Radiación solar entrante: } q_1 \\ \text{Efectos de enfriamiento viento - lluvia: } q_2 \\ \text{Efectos costeros: } q_3 \\ \text{Inversiones de Temperatura } q_4 \\ \text{Fuentes de Radiación Térmica Local: } q_5 \end{cases}$$

Donde cada fracción se puede modelar por separado:

$$\begin{aligned} q_1 &= f(\text{latitud, longitud, elevación, exposición, fecha}) \\ q_2 &= f(\text{exposición del viento, flujo de aire frío, precipitación, nubes}) \\ q_3 &= f(\text{distancia de la línea costera, orografía}) \\ q_4 &= f(\text{profundidad a fregadero, exposición, cobertura de suelo}) \\ q_5 &= f(\text{cobertura de suelo, actividades industriales}) \end{aligned}$$

Anteriormente las variables meteorológicas tales como temperatura, precipitación y otras variables meteorológicas se observaban localmente en estaciones meteorológicas que proporcionaban datos que posteriormente se interpolaban sobre áreas de gran dimensión para producir mapas completos. Pero en casos como el peruano en el que no contamos con suficientes estaciones meteorológicas como para que el resultado de las interpolaciones nos dé datos fidedignos, es necesario buscar alternativas que nos ayuden a reducir el error.

La meteorología de hoy se apoya con la teledetección de imágenes. Una gran cantidad de imágenes meteorológicas en diferentes longitudes de onda (visible, infrarroja, térmica y Microondas), en los modos pasivo y activo (microondas Radiómetros y radar de precipitación), y desde las órbitas geoestacionarias, que actualmente están disponibles y vienen siendo utilizadas cada vez más para dar estimaciones directas (y globales) de las variables (Baum B, 2006).

Las imágenes Espectro radiométricas (MODIS), así como Las imágenes de temperatura superficial terrestre (LST) derivadas de las bandas térmica MODIS, son frecuentemente usadas como fuente de teledetección en las estimaciones de la temperatura superficial terrestre. (Wan Z, Zhang Y, Zhang Q, 2004).

La precisión de las imágenes MODIS LST ($cca \pm 1^\circ K$) es bastante aceptable teniendo en consideración que los productos MODIS pueden obtenerse casi al día y ser obtenidos libremente por medio del Nivel 1 y el Sistema de distribución de Archivo Atmosférico (LAADS FTP). Estas imágenes pueden ser utilizadas para las predicciones espaciales de los valores medios en el suelo. Las mediciones de temperatura en el suelo suelen ser utilizadas para calibrar los productos RS-Climáticos estimados, a través de la regresión Kriging Espacio Temporal. El modelo estadístico para predecir las temperaturas en locaciones que no podemos observar (S_0, t_0) según (Hengl, 2009) es:

$$\hat{T}(S_0, t_0) = q_0 x \hat{\beta} + C^{-1} x C_0 x (T - q x \hat{\beta}) \dots (2)$$

Donde \hat{T} Es la temperatura predecida, T es un vector de los valores medidos de la variable objetivo en estaciones terrestres (n.m mediciones en el espacio y el tiempo);

$s \in ((X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n))$; $T \in (t_1, t_2, \dots, t_m)$, q_0 y q Son un vector y una matriz de las variables auxiliares en las ubicaciones objetivo y de observación, C es la covarianza Matriz de los residuos n.m en los lugares de muestreo, C_0 Es el vector de covarianza entre los residuos en la observación y localización de objetivos y β Es un vector de Coeficientes de regresión.

El sistema predictivo de la Ecuación (2) es básicamente el Modelo universal de kriging para datos espacio-temporales lo cual puede ser estudiado con más detalle en (Kyriakidis & Journel, 1999)

$$T(S, t) = m(s, t) + \varepsilon(s, t) \dots (3)$$

Donde $m(s, t)$ es la parte determinista de la variación (es decir, una función lineal de las variables auxiliares), $\varepsilon(s, t)$ Es el residual para cada (s, t) . Para facilitar la inferencia estadística se asume comúnmente que la parte del residuo de media cero es multivariado normalmente distribuido.

La regresión de kriging en la ecuación (2) se usa de igual forma para datos puramente espaciales, así como para datos espacio tiempo, sin embargo, hay dos grandes diferencias entre las dimensiones puramente espaciales y Modelos de predicción.

En la práctica, Cuando se trata de datos del mundo real, los variogramas espacio–tiempo son simplificados introduciendo supuestos estadísticos. Básicamente, dos grupos principales de enfoques (A) separables (modelos puramente espaciales y puramente temporales) y (b) enfoque no separable (espacio–tiempo) (HC, F, J, & F, 2007).

Una dificultad metodológica que debe abordarse es el problema de falta de píxeles en las imágenes MODIS LST. Las imágenes MODIS pueden contener hasta 100 % faltas de píxeles en un área, esto debido principalmente a nubes o a condiciones atmosféricas no favorables (Neteler, 2010).

Las imágenes MODIS, especialmente las escenas mosaico MODIS, es sabido que contienen artificios y características ruidosas. Por esto, una imagen MODIS LST se puede representar como un compuesto de tres componentes:

$$LST_{MODIS} = LST^*(s, t)\Phi(s, t) + \varepsilon(s, t) \dots (4)$$

Donde LST^* es la temperatura estimada en perfectas condiciones atmosféricas, $\Phi(s, t)$ es la función de enmascaramiento ($\Phi(s, t) \in [0,1]$) y ε es el componente de ruido. Esto Significa que, aunque MODIS LST es potencialmente un estimador preciso de la temperatura, los píxeles faltantes ($\Phi(s, t)$) y ruido ($\varepsilon(s, t)$) Representan un problema para la Cartografía geoestadística porque deterioran el poder predictivo de los datos MODIS.

Para reducir el ruido y los artificios en las Imágenes MODIS es también factible explotar información en predictores estáticos de bajo costo disponibles en todos los lugares y que contienen mucho menos ruido, Por ejemplo:

La latitud (LAT), la longitud (LON), la distancia desde la Línea de costa (DSEA), Modelo Digital de Elevación (DEM), Índice de humedad topográfico (TWI) y energía solar entrante Radiación (INSOL). Para usar estos predictores en el modelo de regresión de kriging, primeramente, se les debe transformar a componentes principales que no estén correlacionados:

$$PC_1(s, t), \dots, PC_p(s, t) \\ = \psi\{q_{LAT}(s), q_{LON}(s), q_{DEM}(s), q_{DSEA}(s), q_{TWI}(s), q_{INSOL}(s), q_{LST}(s)\} \dots (5)$$

Donde $\psi\{ \}$ Es la Función principal de transformación del componente y p es el número de entradas al análisis principal de componentes.

Dicha transformación a componentes principales da como resultado la reducción del ruido y artificios en las imágenes de teledetección ya que las impurezas y características no correlacionadas, se remueven a componentes de orden superior (Liszka, 2004), y estas a su vez no son usadas en la regresión de kriging (Es decir que el número de predictores usados en la regresión de kriging es menor a p.)

Combinando el componente principal con una regresión escalonada, se puede filtrar tales componentes ruidosos del análisis de regresión y de esta manera hacer un mejor uso del componente LST^* (Ecuación 4). De ahí que el modelo de regresión de la Ecuación 2 es de hecho:

$$T^*(s, t) = b_0 + b_1 \cdot \cos\left([t - \phi] \cdot \frac{2\pi}{365}\right) + \beta^T x\{PC_1(s, t), \dots, PC_p(s, t)\} + \varepsilon(s, t) \dots (6)$$

Donde t es la fecha (días acumulados), ϕ es la hora retardo del día más frío y una función trigonométrica se asume que modelan la fluctuación estacional de la temperatura. Obsérvese que algunos predictores que definen la PCi en la ecuación (6) Son temporalmente constantes o estáticas (p.ej. DEM), Mientras INSOL y MODIS LST están disponibles Como series de tiempo. El término residual (ε) se supone que debe ser normalmente distribuido con media cero $E\{\varepsilon(s, t)\} = 0$, y se modela utilizando la función covariación suma-métrica explicada en la ecuación 5.

El problema restante son los píxeles que faltan en las imágenes MODIS LST debido a las nubes y similares Perturbaciones atmosféricas.

Estos píxeles faltantes pueden ser filtrados iterativamente mediante la interpolación de los valores vecinos de las PCs utilizando algún Interpolador mecánico tales como los splines. Al combinar estos dos Procesos-PCA y el llenado de píxeles faltantes, uno puede generar

predictores tales como: (a) no correlacionados y (b) Disponible para toda el área de interés.

PRECIPITACIÓN

- Estaciones: Se utilizó una base de datos de 328 pluviómetros de los registros de los servicios meteorológicos del Perú (SENAMHI). Todos los registros de las estaciones están terminados al menos en un 90 % con una resolución mensual durante el período de 30 años comprendido entre 1981 y 2010. Todos los indicadores fueron inspeccionados con respecto a la ubicación, elevación, aspecto, distancia a los indicadores vecinos y clima en general, y sólo aquellos con grandes errores relativos que no pudieron ser explicados por los patrones de precipitación o topografía circundante fueron eliminados, lo que llevó a la eliminación de 12, resultando en una base de datos final de 316 pluviómetros (Figura N°12) para la fusión S-E (Satélite-estación meteorológica). El conjunto final de estaciones utilizadas estaba compuesto por pluviómetros situados a elevaciones desde el nivel del mar hasta algunas por encima de 4800 msnm en los Andes Tropicales, a través de las 53 cuencas que atraviesan la vertiente del Pacífico. Finalmente, las estimaciones climatológicas medias para cada mes calendario se obtuvieron promediando las observaciones del respectivo mes de todos los años durante todo el período de 30 años.

A continuación, podemos observar la distribución espacial de las 316 estaciones meteorológicas o pluviómetros usados como base de datos para precipitación.

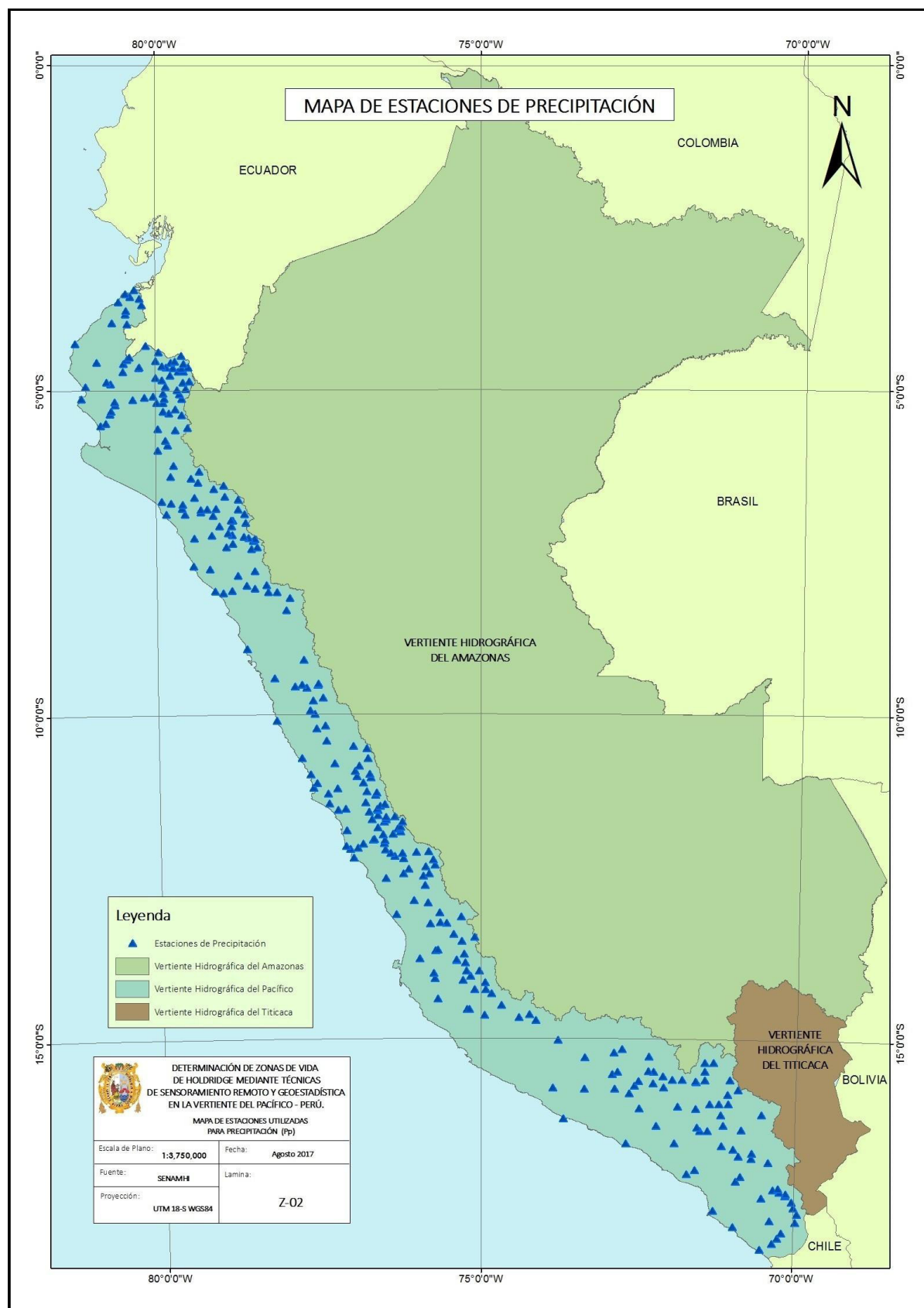


Figura 12: El mapa muestra la ubicación de las 316 que cumplían con las condiciones para ser utilizadas como base de datos para la fusión con la data satelital TRMM2A25.
Fuente: SENAMHI

En la siguiente figura, se puede apreciar el área cubierta por la Misión de medición de lluvias en los andes tropicales (TRMM) de la NASA.

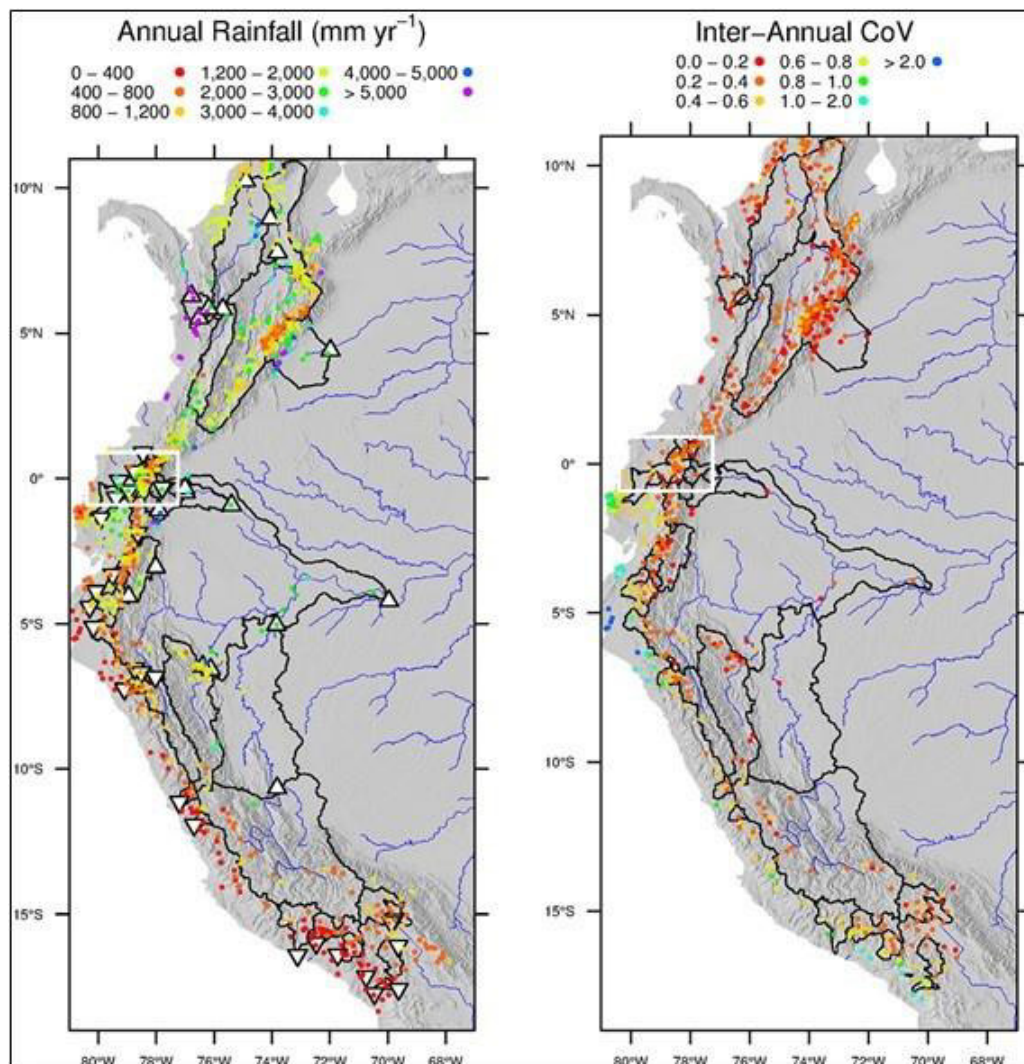


Figura 13: Mapa topográfico de los Andes Tropicales con pluviómetros mostrando los totales anuales de precipitación (izquierda) (en mm año⁻¹) y (derecha) el coeficiente de variación de la precipitación anual total. Los caudales considerados en el análisis hidrológico están delineados en negro y la respectiva red fluvial en azul. Los indicadores de descarga en las salidas de captación están marcados por triángulos blancos (hacia arriba y hacia abajo para las regiones Caribe / Amazonas y Pacífico / Andina, respectivamente). Obtenido de (Manz, 2015).

- Acoplamiento de la información observada y satelital

Tanto la información obtenida por el Radar de Precipitación (TPR) del TRMM como los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas al ser fusionados mediante técnicas de geoestadística (específicamente LROK - Lineal Regression Ordinary Kriging) van a producir resultados que deben ser evaluados para ser validados y exista confiabilidad de estos datos.

Los datos de las precipitaciones satelitales se obtuvieron a partir de las estimaciones instantáneas de la precipitación de la superficie cercana del producto TRMM PR orbital 2A25 versión 7 (Iguchi, 2009) durante todo el período de observación de la misión (1998- 2014). Para derivar las climatologías mensuales medias de 5 km a partir de las observaciones instantáneas de TPR, las celdas individuales sobrepasadas de TPR fueron reproyectadas primero en una rejilla de 1 km espaciada regularmente y luego re agregadas a una cuadrícula de 5 km. Para la coherencia espacial, se utilizó una proyección métrica Universal Transverse Mercator (UTM).

En este proceso, para cada cuadrícula de TPR sobrepasada, se asignó a una celda grillada de 1km, el valor de la observación del píxel de 5km que sobrepaso su franja TPR. La reproyección inicial a una rejilla de 1 km tiene dos beneficios. En primer lugar, el uso de una cuadrícula de mayor resolución de destino permite una mejor delimitación del píxel TPR que sobrepasa la cuadrícula regular, ya que minimiza los problemas de celdas de cuadrícula parcialmente llenas. En segundo lugar, aunque para los pasos de tiempo individuales los valores de las celdas vecinas de la cuadrícula (dentro del mismo píxel de 5 km) serán idénticos, la trayectoria de los sucesivos pasos del radar de precipitación cambia cada 46 días hasta que se completa un ciclo. Como resultado, la serie temporal completa de TPR diferirá para las celdas vecinas de 1 km y varían en longitud durante el período total (1998-2014) de aproximadamente 1900 observaciones instantáneas en el ecuador a 2400 a 20°N / S. Para cada celda de 1km, estas series de tiempo fueron promediadas de manera análoga a los datos de calibración para obtener estimaciones climatológicas medias para los 12 meses calendarios. Sin embargo, como las estimaciones TPR originales representan las tasas de lluvia promedio a través de una resolución de 5 km, los medios climatológicos a 1 km deben considerarse como las mejores estimaciones de una ventana espacialmente móvil de 5 km. Consecuentemente, para la coherencia entre la escala espacial y las estimaciones de lluvia, las estimaciones climatológicas se agregan de nuevo a 5 km.

A medida que el TPR informa de las tasas de lluvia cercana a la superficie en milímetros por hora, las estimaciones climatológicas mensuales se incrementaron por el número de horas por mes calendario a los totales mensuales (mm).

■ **Satélite y pluviómetros: Evaluación de la Representatividad Climatológica**

Los promedios de precipitación climatológica se definen típicamente en un período de 30 años o más, lo que excede la vida útil del satélite TRMM (17 años). Para determinar si el período de observación del pluviómetro (1981-2010) y el registro por satélite (1998- 2014) son adecuados para la fusión, se investigó la variabilidad interanual de los totales de precipitación y se realizaron dos pruebas estadísticas (Mann–Kendall y Kolmogorov– Smirnov) aplicadas para comparar los datos de los indicadores durante los dos períodos. La Figura 12 muestra el coeficiente de variación de los totales anuales de precipitación durante el período 1981-2010, identificando claramente la costa del Pacífico peruano, en particular la región norte de Piura como la región que muestra mayor variabilidad. Es bien sabido que esta región es más directamente afectada por los ciclos interanuales de ENSO, ya que muestra la correlación positiva más alta entre la precipitación anual total y el Niño.

Con el fin de identificar la no estacionariedad en la media de los datos de lluvia distribuidos de forma no normalizada, la prueba no paramétrica basada en rangos de Mann-Kendall (M–K) es adecuada (Espinoza-Villar, 2009). Cuando los datos de los indicadores del TPR estuvieron disponibles completos hasta 2014, se aplicó la prueba M–K para encontrar una tendencia en los datos durante el período 1981-2014. En el nivel de confianza del 95 %, los indicadores mostraron una tendencia débil positiva.

En segundo lugar, para evaluar si la distribución estadística de los 316 pluviómetros se diferenció entre los períodos 1981-2010 y 1998-2014 se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K–S). La prueba de K–S se considera adecuada en estas condiciones, ya que también es no paramétrico y no hace ninguna suposición sobre la distribución estadística de los datos de lluvia (Tarnavsky, E., 2012). Se obtuvo un nivel de confianza del 95 %. Para los indicadores calibrados por el test M–K o K–S, se calculó la diferencia en las climatologías mensuales medias entre 1981–2010 y 1998–2014. La diferencia máxima (independientemente del mes calendario) varió $16,3 \% \pm 13,2 \%$ (mediana \pm sd). Teniendo en cuenta estas condiciones, se parte del supuesto de que las estimaciones medias de TPR durante 1998–2014 son descriptores

adecuados de los patrones espaciales de precipitación climatológica a través de los Andes Tropicales y por lo tanto apropiados para fusionarse con los registros de pluviómetros disponibles.

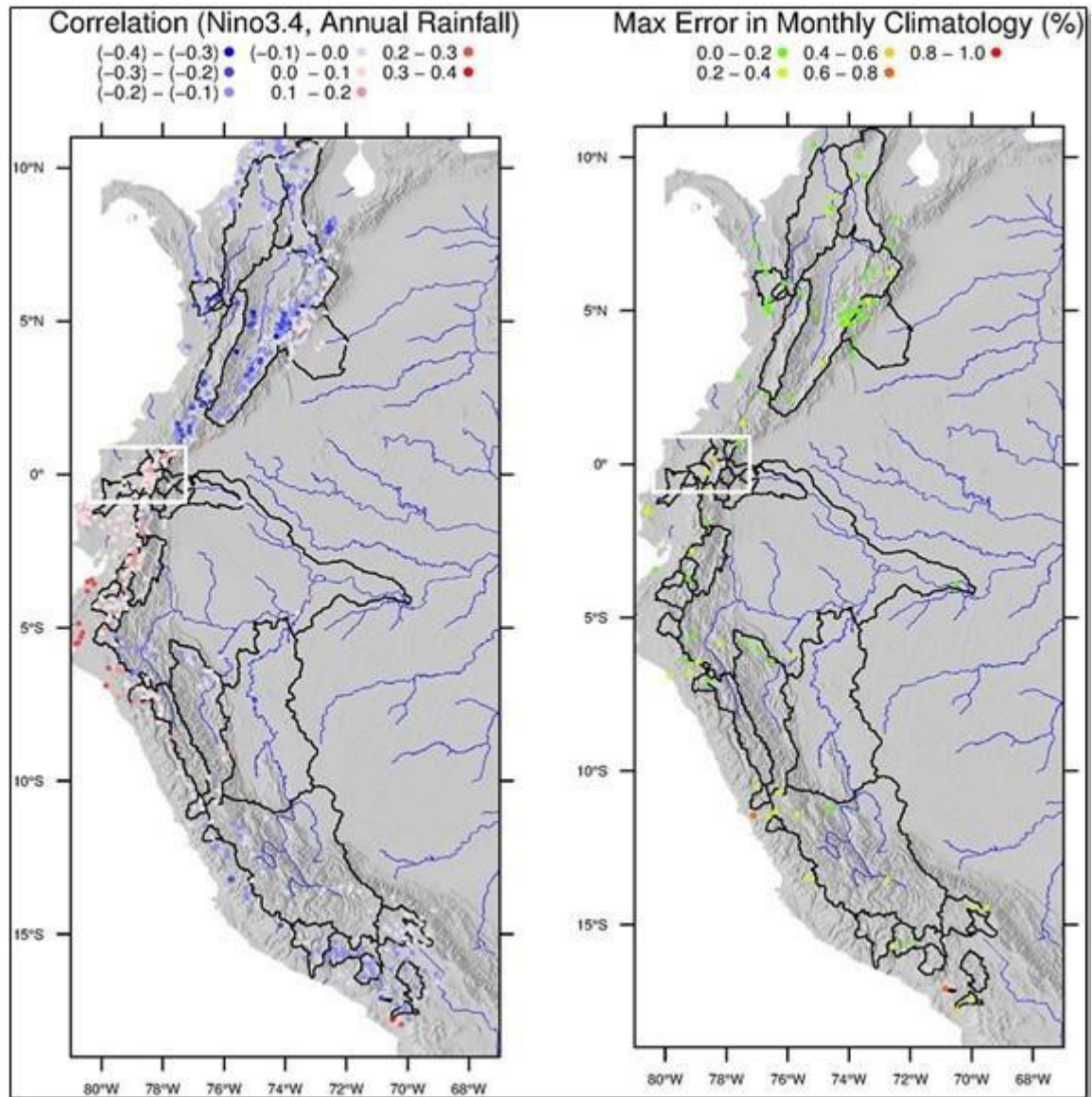


Figura 14: Igual que en la Figura 14, pero mostrando (izquierda) la correlación lineal (ρ) entre la precipitación mensual y el índice Niño 3.4 así como (derecha) la diferencia relativa máxima en la precipitación mensual media climatológica entre los períodos 1981-2010 y 1998-2014 para todos los indicadores calibrados por los ensayos MK y KS. Obtenido de (Manz, 2015).

3.2. Estimación de los parámetros para la Clasificación por Distancias

Mínimas

a) Biotemperatura

La BT se define como la media de las temperaturas positivas del período unitario con la sustitución de cero por todos los valores del período unitario por debajo de 0 °C, que hizo una modificación tentativa; Esto se basa en el supuesto de que las plantas se vuelven fisiológicamente inactivas por debajo de esta temperatura (Holdridge, 1967).

$$BioT_{anual} = \sum_{i=1}^{12} BioT_{mensual} ; 0 \leq BioT_{mensual} \leq 30$$

La biotemperatura multianual es generada a partir del promedio de las biotemperaturas anuales del periodo de 1981 hasta el 2010.

b) Precipitación media anual

De forma parecida a la biotemperatura, las precipitaciones diarias obtenidas a punto de estación son acumuladas a pasos mensuales y posteriormente a anuales. La precipitación multianual es obtenida sumando los totales anuales del periodo de 1981 hasta el 2010 y dividiéndolo entre 30.

c) Ratio de Evapotranspiración Potencial

El PER es la relación de la evapotranspiración potencial media anual a P, que proporciona un índice de condiciones de humedad biológica. Es una expresión de la humedad relativa de un área, referida a la cantidad de agua que se transpiraría bajo condiciones óptimas de humedad del suelo y cubierta vegetal.

$$PER(x, y) = \frac{58,93BT(x, y)}{P}$$

3.3. Control de calidad

a) Temperatura

La data de temperaturas máximas (TX) y mínimas (TN) diarias se obtuvo de 79 estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La data obtenida está contenida dentro de los años 1981 – 2015.

Se dividió en dos secuencias el proceso de control de calidad: Automático y visual. El automático se basa en el procedimiento seguido por (Vicente-Serrano, 2003) que se define por una evaluación general (fechas duplicadas, comas decimales, valores-999 y/o -888), rangos parametrados $TX \geq 60$ o $TX \leq -10$, y $TN \geq 40$ o $TN \leq -30$, congruencia entre variables ($TX \leq TN$), consistencia temporal (valores consecutivos repetidos > 8 días y saltos diarios > 15°C) y consistencia espacial (comparación de valores ranqueados de TX y TN con estaciones vecinas). Los valores que sobrepasan los límites establecidos fueron descartado.

Puesto que un solo proceso de control de calidad no es factible para series climáticas en la región de estudio (Hunziker, 2017), fue necesario hacer rupturas o quiebres en las series de tiempo, así como también eliminación de segmentos con evidente data no homogénea, esto mediante la visualización e inspección. Una vez terminado el control de calidad de la data se obtuvieron 271 estaciones meteorológicas con al menos 5 años de información.

Fue necesario hacer una homogenización e imputación en los datos para asegurar la variabilidad temporal de la temperatura. La imputación se hizo a una escala diaria, mediante el algoritmo planteado por (Thevakaran, 2017) el cual está basado en la relación del valor normalizado de temperaturas de estaciones vecinas o cercanas. El algoritmo fue usado con aquellas estaciones que contenían mayor información observada, usando las series restantes, esto para asegurar el llenado de información. Posteriormente se procedió al llenado de las series siguientes usando las series previamente completadas y restantes. Así pues, quedo como resultado series con 10 años. En series menores a 10 años, fue sustituida la información observada por los valores obtenidos del algoritmo.

La homogenización se realizó a escala mensual y diaria, transformando valores diarios a mensuales. La homogenización mensual se basó en comparaciones emparejadas de estaciones vecinas siguiendo lo propuesto por (Menne & Jr, 2009), quienes a su vez usan una versión

recursiva de la prueba de Normalidad de Alexanderson y numerosas comparaciones de series de temperatura para identificar heterogeneidades en los datos de una estación respecto a observaciones circundantes. Obtenidos los factores de corrección mensual, se los transformo a valores diarios mediante una interpolación lineal de los mismos, teniendo como referencia el estudio de (Vincent & Zhang, 2002). Teniendo en cuenta que dicha corrección solo corrige valores medios, y no de órdenes superiores de distribución (Della-Marta & Wanner, 2006), la simplicidad de este enfoque provee datos diarios que coinciden con las variaciones en los datos mensuales homogenizados sin adicionar complejidades e incertidumbres. Así pues, se obtuvo como resultado información de 271 estaciones meteorológicas completas y homogenizadas.

b) Precipitación

Para el control de calidad de los datos obtenidos de los 316 pluviómetros ubicados a lo largo de la Vertiente del Pacífico y alrededores, se utiliza la generación de datos grillados, de esta manera se identifica tanto errores, así como registros pluviométricos con datos cuestionables. Los errores más comunes que se cometen son: malas condiciones del instrumento, problemas en la digitalización, transcripción o colección de datos (Reek, Doty, & Owen, 1992). Se han propuesto diversas apreciaciones para la identificación de errores en los datos de pluviómetros, es así como (Feng, Hu, & Qian, 2004), utiliza regresiones lineales (LM) para contrastar las estaciones utilizadas con las 5 más próximas; o (Griffiths, Salinger, & Leleu, 2003), que busca datos irregulares en cada pluviómetro y de forma manual, estima si los valores hallados se encontraban vinculados a eventos meteorológicos reales registrados, como por ejemplo, inundaciones.

En la realización de este trabajo, se utilizó las 3 estaciones más cercanas en un radio de 20 km, para ejecutar en un primer momento una inspección visual de la data. En el caso de que no existiera estaciones cercanas con las que comparar la estación analizada, se debe tomar en cuenta la solides de su serie, la climatología promedio de precipitación diaria y la altitud con respecto al mar. Si el registro es óptimo, continuamos, analizando la fiabilidad de los datos atípicos hallados, para lograr ello comparamos todos los valores de la serie con la precipitación de 200 años de retorno, si alguno de estos valores supera este umbral, se le comparará con los valores de precipitación por encima de la precipitación de 200 años de retorno de las 3 estaciones contiguas, si en alguna de las 3 estaciones analizadas se observa el valor atípico, éste es conservado, pero si no se observa, la condición no se cumple y es removido de la base de

datos. Este criterio se aplicó a las 316 estaciones.

Posteriormente de confirmar que los datos utilizados cumplen con el control de calidad establecido, es indispensable que la información muestre un comportamiento normal o de alguna forma simétrico. Como es sabido la información pluviométrica posee una alta variabilidad, más aun cuando se ven influenciados por eventos interanuales como el Fenómeno del Niño. Es por esto que se realiza un forzamiento numérico, transformando los valores obtenidos para la precipitación a su logaritmo natural de manera que se impide la presencia de estimaciones negativas, a continuación, se interpolan los valores estimados y se re transforman regresando a sus valores reales.

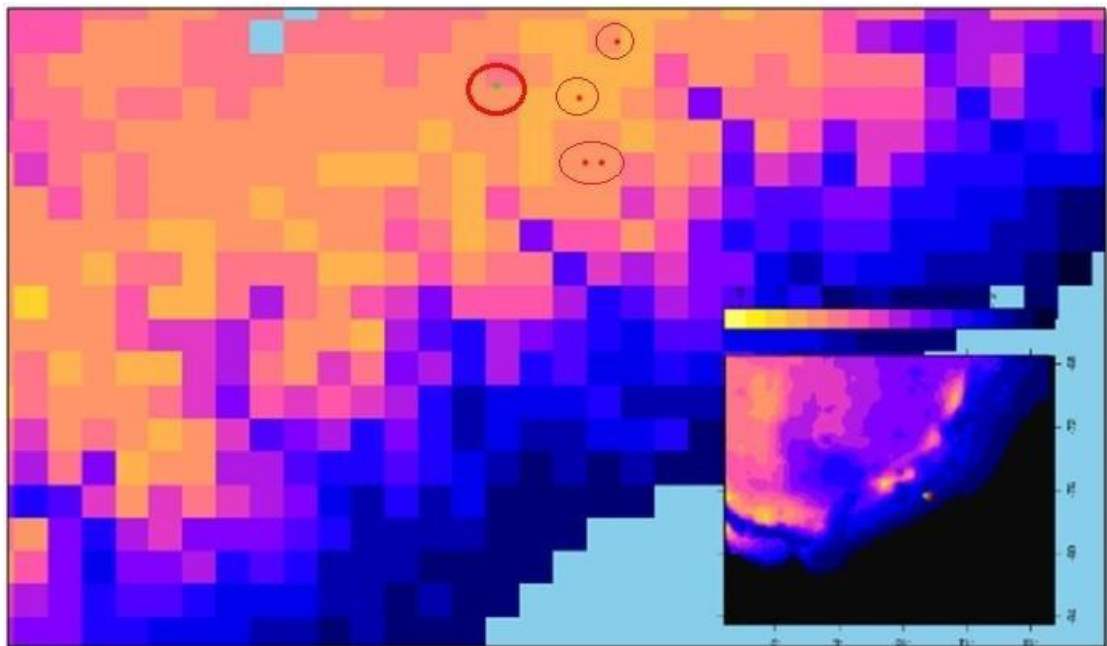


Figura 15: Pauta utilizada para el control de calidad de la climatología de precipitación; la marca verde muestra la ubicación espacial de la estación analizada y las marcas rojas, las estaciones más próximas. Elaboración Propia.

3.4. Covariables utilizadas

El uso de técnicas de como predicción espacial para precipitación como para la biotemperatura multianual (1981-2010) son mucho más robusto en comparación al análisis de las mismas a altas escalas temporales, ya que la conducta sistémica es superior al aleatorio (Vicente-Serrano, 2003).

Múltiples covariables fueron testeadas entre ellas la elevación (ELE), Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), distancia al mar (DSea), insolación total (Insol), latitud

(Lat), longitud (Lon), TRMM2A25 y MOD11A1 (Cuadro 6). Si bien covariables como el MOD11A1, NDVI y la elevación presentan una alta correlación significativa con respecto a las precipitaciones, estas no fueron utilizadas en su predicción espacial final, ya que no describen de manera correcta el comportamiento conocido de las lluvias en todo el Perú (Bookhagen & Strecker, 2008; Lavado, 2009; Lavado Casimiro, Ronchail, Labat, Espinoza, & Guyot, 2012), la razón principal de estos altos valores se debe a una limitación de desviación espacial por parte de la red de SENAMHI que concentra los pluviómetros en la región hidrográfica del Pacífico (Figuras 10 y 11) por lo que estos valores solo pueden ser atribuidos a estas áreas determinadas, dicho esto, se consideró la información proveniente del TRMM2A25 como la única covariable posible a ser utilizada en la predicción espacial de las precipitaciones. Asimismo, existen múltiples datos que nos ayudan a describir los patrones de la biotemperatura, pero no en todos sus puntos conocidos, por lo que fue inevitable realizar un Analisis de Componentes Principales (ACP).

Cuadro 6: Covariables utilizadas para la predicción espacial junto a su fuente y/o algoritmo para su generación.

Covariable	Fuente
Elevación	SRTM v4.1 (Reuter, 2007)
NDVI	MOD13A2 (Huete, 2002)
Distancia al mar	Mapa político de Sudamérica – gdal_proximity.py
Insolación Total	SRTM v4.1 -SAGA GIS Module Potential Incoming Solar Radiation
Temperatura superficial	MOD11A1 y MYD11A1
Precipitación	TRMM2A25- (Manz, 2015)
Latitud	SRTM v4.1
Longitud	SRTM v4.1

El análisis de componentes principales se usa con la finalidad de aminorar el ruido y redundancia, debido a que los componentes sin correlación se ubican específicamente en factores de estructura superior, en la figura 16, es posible apreciar las diferentes componentes obtenidas.

La biotemperatura, a diferencia de la precipitación, muestra un comportamiento más estacionario espacialmente por lo menos esto se ve reflejado al analizar las correlaciones en los puntos de estación de la red meteorológica del SENAMHI obteniendo correlaciones por encima del 0.98 para el caso de la biotemperatura y de 0.925 para el caso de las precipitaciones (figura 15).

Finalmente, la Covariable utilizada en el caso de la biotemperatura fue la MOD11A1, como podemos observar en el gráfico, es la que tiene mayor correlación en comparación con las otras 6 covariables (elevación, NDVI, distancia al mar, insolación, latitud y longitud).

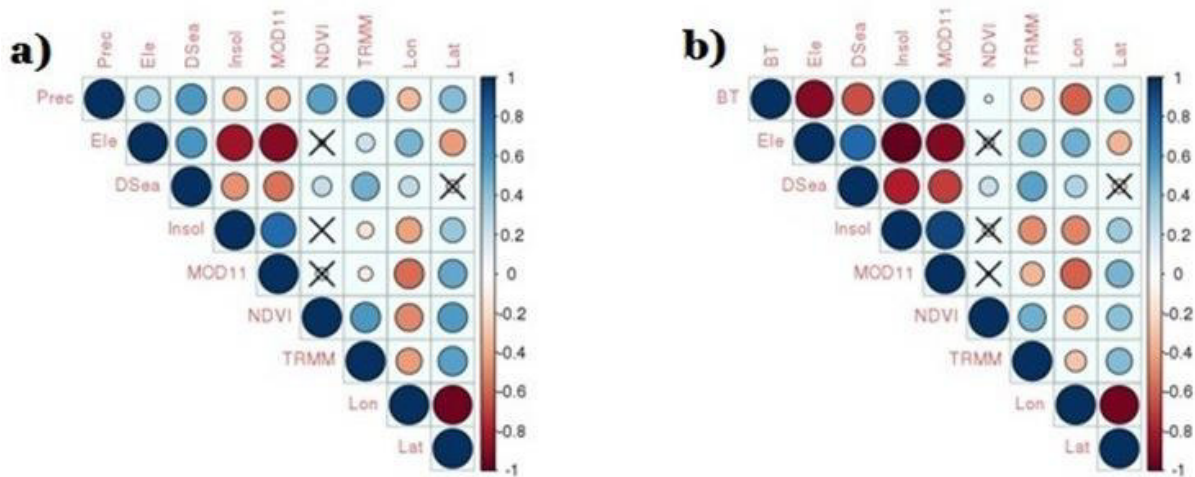


Figura 16: Matriz de correlaciones para la precipitación (a) y biotemperatura multianual (b). Las aspas indican las correlaciones en las que no existe significancia estadística ($p > 0.05$). Finalmente, según la matriz se obtuvo la siguiente correspondencia: Precipitación–TRMM2A25 y Biotemperatura–MOD11. Elaboración Propia.

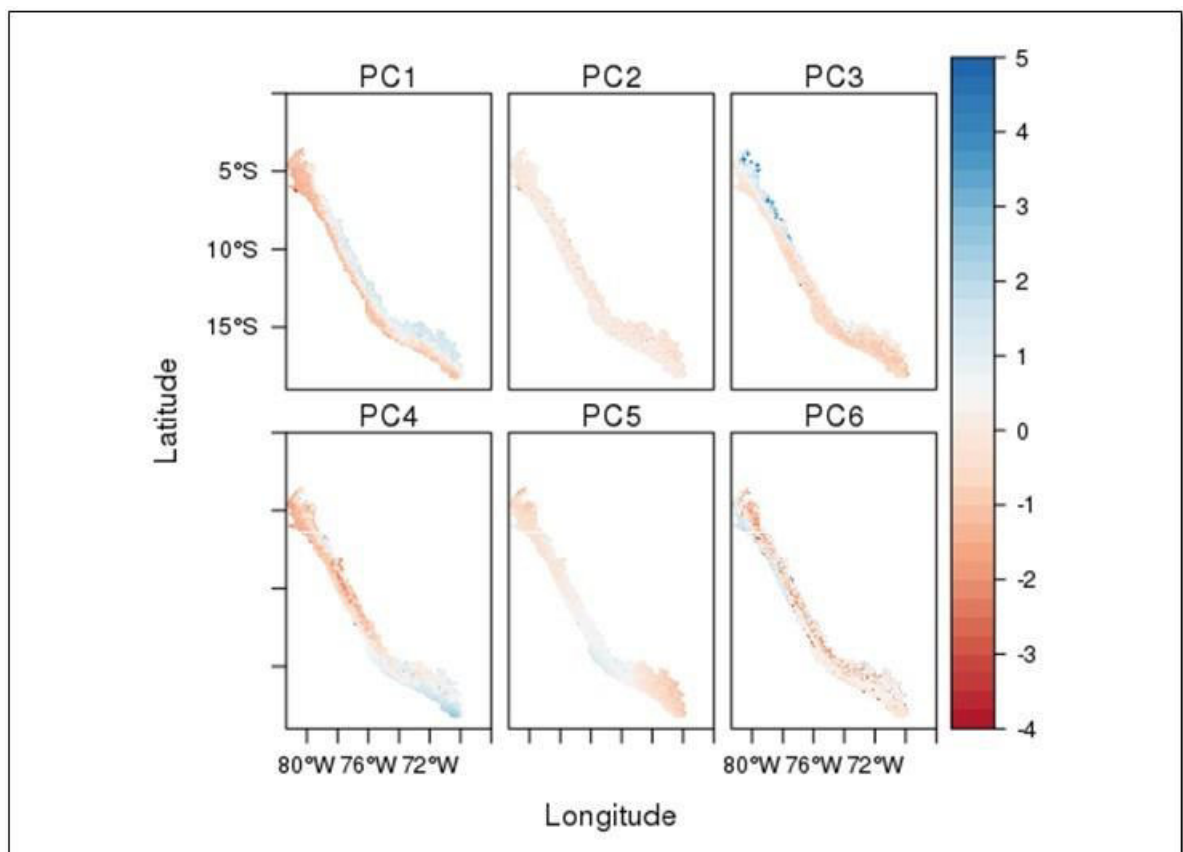


Figura 17: Componentes Principales utilizadas para la estimación de la biotemperatura. Elaboración Propia.

3.5. Predicción Espacial

De acuerdo al Atlas de Zonas de Vida del Perú (Aybar, Lavado 2017), la predicción espacial se realiza mediante la Regresión Ordinaria de Kriging (LROK) tanto para precipitación como para la biotemperatura, el algoritmo prevé que la estacionariedad espacial no es cumplida en un primer momento. Por ello, se usan los mínimos cuadrados para ajustar un modelo de regresión lineal en ambas variables:

$$Z_{prec}^* = aZ_{TRMM} + b \dots (2)$$

$$r_{prec} = Z_{prec}^* - Z_{prec}$$

$$Z_{biotemp}^* = cCP_1 + dCP_2 + eCP_3 + \dots + jCP_8 \dots (3)$$

$$r_{biotemp} = Z_{biotemp}^* - Z_{biotemp}$$

Donde Z_{prec} y $Z_{biotemp}$ representan los valores obtenidos de PMA y BioTMA en todas las estaciones meteorológicas del ámbito de estudio ; Z_{prec}^* y $Z_{biotemp}^*$ son la predicción del modelo de regresión lineal ; Z_{TRMM} , CP_1 , CP_2 ... CP_8 son las covariables previamente descritas en el cuadro 6; a, b, c, d, e y j los coeficientes del modelo de regresión lineal y finalmente r_{prec} y $r_{biotemp}$ los residuales que pueden ser entendidos como la parte no explicada por el modelo de orden estacionaria. Estos últimos son interpolados mediante Ordinary Kriging (OK):

$$r^*(u) = \sum_{\alpha=1}^N \lambda_{\alpha}(u)r(u_{\alpha}) \dots (4)$$

$$\sum_{\alpha=1}^N \lambda_{\alpha}(u) = 1 \dots (5)$$

Donde $r^*(u)$ es el residual de PMA o BioTMA para una ubicación desconocida; $r(u_{\alpha})$ representa los residuales en las estaciones meteorológicas y $\lambda_{\alpha}(u)$ son los pesos asociados a cada estación. OK resuelve la Eq. (4) sujeto a la Eq. (5), minimizando la varianza del dominio obtenida de las diferencias entre $r^*(u) - r(u)$ el resultado de la ecuación del KO se muestra a continuación.

$$\sum_{u=1}^N \lambda_{\alpha}\gamma(u_{\alpha}, u_j) - \mu = \gamma(u_{\alpha}, u_0) \dots (6)$$

Donde γ nos señala el semivariograma modificado: u_α , u_j las posiciones iniciales; u_0 la posición a predecir y μ es el multiplicador de Lagrange. La Eq. (6) puede representarse como $A \times W = C$, donde W nos señala los pesos necesarios para la Eq. (4), A es la matriz de residuos del semivariograma para las estaciones y C es el vector de semivariograma entre los residuales de todas las estaciones y el punto a predecir u_0

$$\begin{bmatrix} 0 & \gamma(u_1 - u_2) & \dots & \gamma(u_1 - u_N) & 1 \\ \gamma(u_2 - u_1) & 0 & \dots & \gamma(u_2 - u_N) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(u_N - u_2) & \gamma(u_N - u_2) & \dots & 1 & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(u - u_1) \\ \gamma(u - u_2) \\ \vdots \\ \gamma(u - u_N) \\ \mu 1 \end{bmatrix} \dots (7)$$

Donde $\gamma(u_i, u_j)$ representan los semivariogramas resultantes de los residuales correspondientes a las estaciones meteorológicas j e i .

La Problemática con respecto al KO radica principalmente en la asignación de los pesos negativos, esto conlleva a la creación de celdas con valores negativos de P_p , por consiguiente es necesario asignárseles valores corregidos de pesos de acuerdo a (Deutsch, 1996).

Para la obtención de residuos en toda el área a trabajar, lo detallado en la Eq. (7) se aplica para cada celda, Finalmente los residuos son agregados al modelo de estimación por regresión Lineal dando resultados en cuanto a PMA y Bio TMA a 1 km de resolución

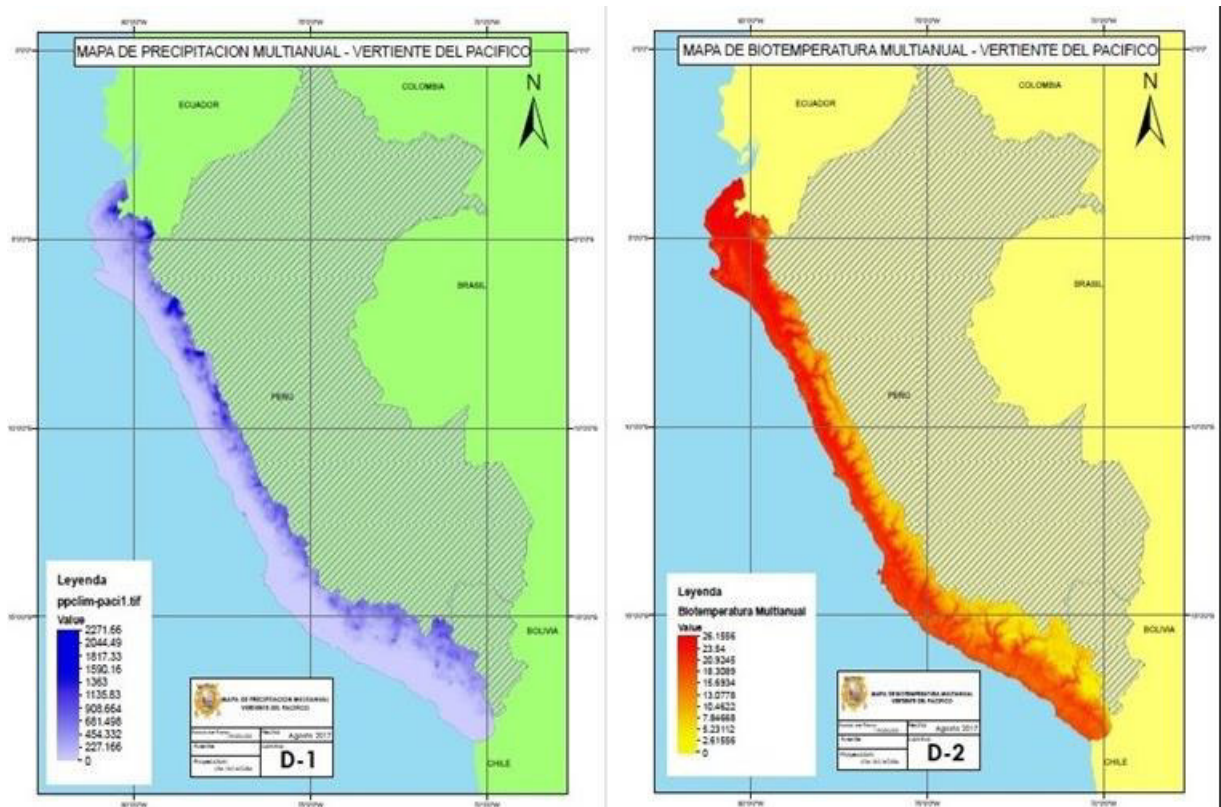


Figura 18: Resultados finales a 1 km de resolución de precipitación y biotemperatura multianual. Elaboración Propia.

Para este trabajo la metodología utilizada para la predicción espacial ha sido la establecida por el Atlas de zonas de vida del Perú debido a que esta explica de manera correcta el comportamiento de las covariables, además de obtener productos finales para la precipitación y biotemperatura a una escala Fina (1 km de resolución). Cabe Resaltar que esta información es re proyectada a una cuadrícula de 5km.

3.5.1. TRAZADO DE MAPAS DEL BIOMA

En este estudio, se utilizó la colección de miembros finales y la distancia mínima del clasificador supervisado para generar el mapa clasificado. Los valores centrales de cada hexágono en el modelo HLZ (Holdridge life zone) representan los valores de píxeles puros de las LZ (Life zones). En la tecnología de teledetección, los píxeles LULC puros representan el valor del miembro final, que puede utilizarse además para definir conjuntos de entrenamiento. Combinando ambos conceptos, los valores centrales de las LZs sirven a los miembros finales para la clasificación de los datos climáticos. En el proceso, primero, BT (biotemperatura), P (precipitación) y PER (ratio de evapotranspiración potencial) se transformarán en su logaritmo natural. Esta transformación de los valores proporciona una base teórica para establecer divisiones de igual peso. Para obtener los valores de logaritmo natural, los valores obtenidos se modifican de la siguiente manera:

$$BT'(x, y) = \ln BT(x, y)$$

$$P'(x, y) = \ln P(x, y)$$

$$PER'(x, y) = \ln PER(x, y)$$

En segundo lugar, los valores de los puntos centrales en cada hexágono HLZ se convirtieron al valor logarítmico natural y se utilizaron como valores de entrada para el archivo de colección de miembros extremos. En tercer lugar, se utilizó el clasificador de distancia mínima, ya que dio el mejor resultado satisfactorio entre otros métodos de clasificación, como la máxima verosimilitud y el mapeador de ángulos espectrales. El clasificador de distancia mínima recogió los valores de cada cuadrícula en cada capa, comparó la distancia con cada miembro final y estableció en la cuadrícula a la clase de miembro final más cercana. La expresión para calcular la distancia es la siguiente:

$$d_i(x, y) = \sqrt{(BT'(x, y) - BT'_i)^2 + (P'(x, y) - P'_i)^2 + (PER'(x, y) - PER'_i)^2}$$

Donde $d_i(x, y)$ representa la distancia de la rejilla (x, y) al centro hexagonal, representa la distancia de la rejilla (x, y) al centro hexagonal, $(BT', P' y PER')_j$ de la i -ésima zona de vida.

Si $d_i(x, y) = \min[d_i(x, y)]$ entonces el sitio (x, y) se clasifica en la i -ésima zona de vida.

(Chakraborty & Joshi, 2013)

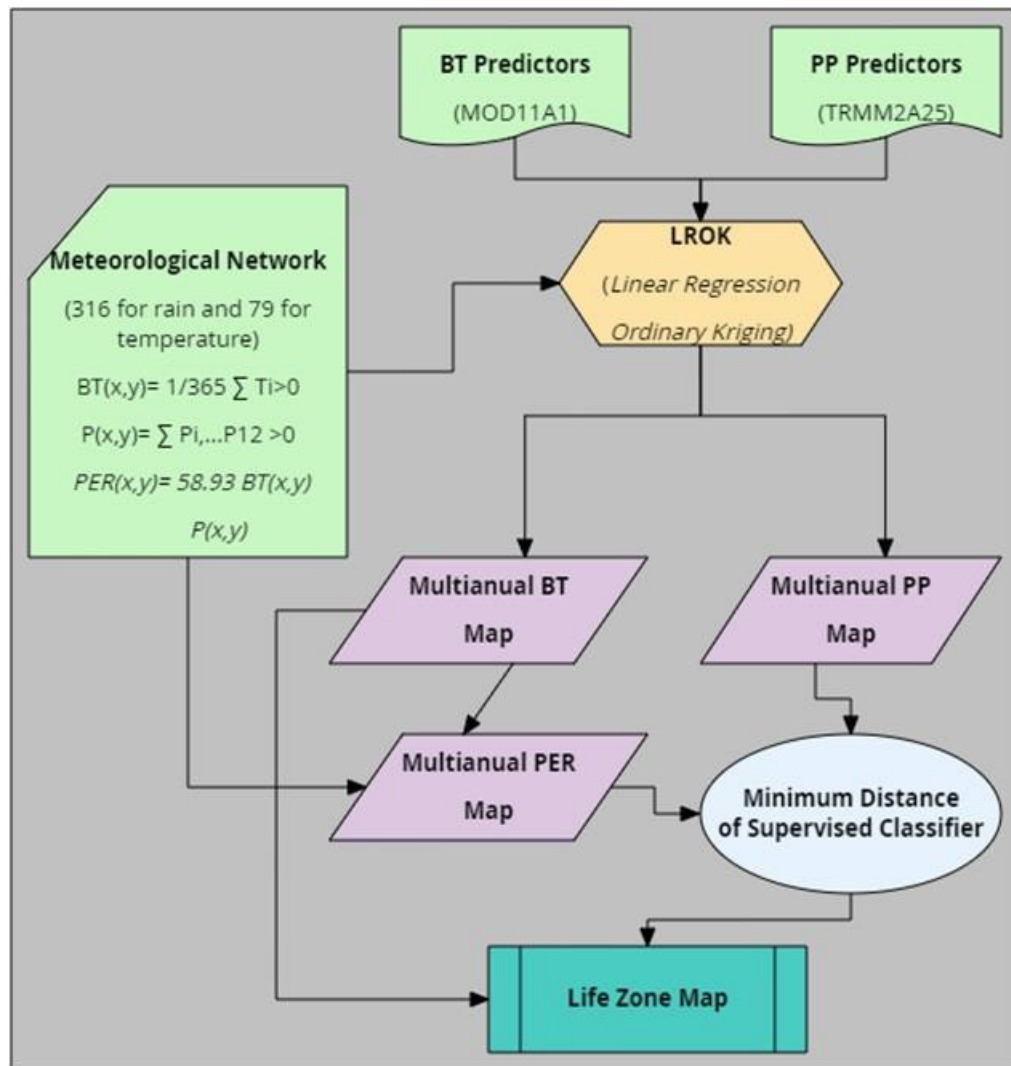


Figura 20: Figura: Diagrama para la determinación de Zonas de Vida según Sistema de Clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (SCZVH). Elaboración propia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Zonas de vida en la Vertiente Hidrográfica del Pacífico

En la Vertiente Hidrográfica del Pacífico se han podido determinar 86 ZDV y 5 de carácter transicional, a través de 3 regiones latitudinales: tropical (desde la línea del Ecuador hasta el paralelo 12° de latitud sur), subtropical (extendida desde el paralelo 12° hasta el paralelo 17° de latitud sur) y templado Cálido (desde el paralelo 17 hasta la frontera con Chile). Las ZDV encontradas son las siguientes:

Zonas de Vida	
1)	Bosque muy seco basal tropical
2)	Bosque muy seco Premontano tropical
3)	Bosque seco alpino tropical
4)	Bosque seco basal tropical
5)	Bosque seco montano bajo tropical
6)	Bosque seco montano tropical
7)	Bosque seco Premontano tropical
8)	Bosque seco subalpino subtropical
9)	Bosque seco subalpino tropical
10)	Bosque muy húmedo montano bajo tropical
11)	Bosque muy húmedo montano tropical
12)	Desierto alpino subtropical
13)	Desierto alpino templado cálido
14)	Desierto alpino tropical
15)	Desierto basal
16)	Desierto basal subtropical
17)	Desierto montano bajo subtropical
18)	Desierto montano bajo tropical
19)	Desierto montano subtropical
20)	Desierto montano templado cálido
21)	Desierto Premontano subtropical
22)	Desierto Premontano templado cálido
23)	Desierto Premontano tropical
24)	Desierto subalpino subtropical
25)	Desierto subalpino templado cálido
26)	Estepa alpino subtropical
27)	Estepa alpino tropical
28)	Estepa montano bajo subtropical
29)	Estepa montano bajo tropical
30)	Estepa montano subtropical
31)	Estepa montano tropical
32)	Estepa Premontano subtropical
3)	Estepa Premontano tropical
34)	Estepa subalpino subtropical
35)	Estepa subalpino tropical
36)	Matorral alpino subtropical
37)	Matorral alpino templado cálido
38)	Matorral alpino tropical
39)	Matorral basal subtropical
40)	Matorral basal tropical

Zonas de Vida	
41)	Matorral montano bajo subtropical
42)	Matorral montano bajo tropical
43)	Matorral montano subtropical
44)	Matorral montano templado cálido
45)	Matorral montano tropical
46)	Matorral Premontano subtropical
47)	Matorral Premontano templado cálido
48)	Matorral Premontano tropical
49)	Matorral subalpino subtropical
50)	Matorral subalpino templado cálido
51)	Matorral subalpino tropical
52)	Monte espinoso basal tropical
53)	Monte espinoso montano bajo subtropical
54)	Monte espinoso montano bajo tropical
55)	Monte espinoso montano tropical
56)	Monte espinoso Premontano subtropical
57)	Monte espinoso Premontano tropical
58)	Nival alpino subtropical
59)	Nival subtropical
60)	Nival templado cálido
61)	Nival tropical
62)	Paramo húmedo alpino subtropical
63)	Paramo húmedo alpino tropical
64)	Paramo húmedo basal tropical
65)	Paramo húmedo montano bajo subtropical
66)	Paramo húmedo montano bajo tropical
67)	Paramo húmedo montano subtropical
68)	Paramo húmedo montano tropical
69)	Paramo húmedo Premontano tropical
70)	Paramo húmedo subalpino subtropical
71)	Paramo húmedo subalpino tropical
72)	Paramo muy lluvioso alpino subtropical
73)	Paramo muy lluvioso montano bajo tropical
74)	Paramo muy lluvioso montano tropical
75)	Paramo muy lluvioso Premontano tropical
76)	Paramo muy lluvioso subalpino subtropical
77)	Paramo muy lluvioso subalpino tropical
78)	Tundra húmeda alpino subtropical
79)	Tundra húmeda montano subtropical
80)	Tundra húmeda subalpino subtropical
81)	Tundra muy húmeda alpino subtropical
82)	Tundra muy húmeda montano subtropical
83)	Tundra muy húmeda subalpino subtropical
84)	Tundra pluvial alpino subtropical
85)	Tundra pluvial alpino tropical
86)	Tundra pluvial subalpino subtropical
Transiciones	
1)	Monte y estepa espinosa (zona de transición alpino)
2)	Monte y estepa espinosa (zona de transición basal)
3)	Monte y estepa espinosa (zona de transición montano)
4)	Monte y estepa espinosa (zona de transición Premontano)
5)	Monte y estepa espinosa (zona de transición subalpino)

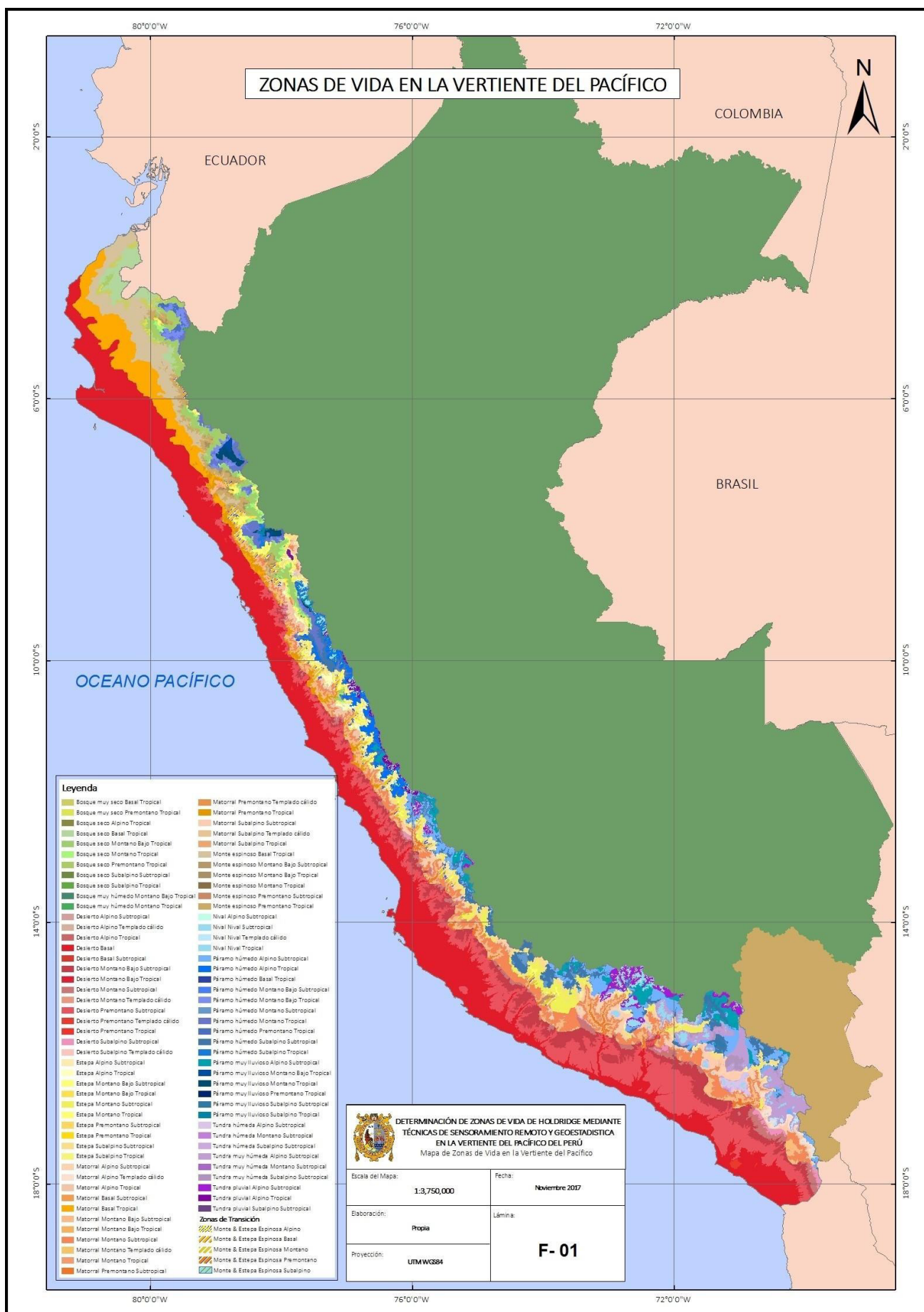


Figura 21: Mapa de Zonas de vida en la Vertiente del Pacífico. Elaboración Propia

4.2. Las Zonas de Vida en las cuencas

Entre las 53 cuencas que forman parte de la Vertiente Hidrográfica del Pacífico, 48 de estas poseen la Zona de Vida de desierto desecado basal siendo solo 5 cuencas y 4 intercuencas las que no lo tienen (Cuenca Tumbes, Cuenca Bocapán, Cuenca Fernández, Cuenca Quebrada Seca y Cuenca Zarumilla) todas estas últimas ubicadas al norte del país, abarcando todo la Región de Tumbes y una pequeña parte de Piura. A continuación, se realiza un listado de las 5 cuencas con mayor área a nivel de la vertiente además de 3 cuencas representativas de la región Lima:

- Cuenca Camaná, con una extensión de 17 049.5122 Km². Posee 27 ZDV y 2 zonas de transición
- Cuenca Ocoña, con una extensión de 15 913.2208 Km². Posee 26 ZDV.
- Cuenca Quilca–Vitor–Chili, con una extensión de 13 457.0132 Km². Posee 22 ZDV.
- Cuenca Tambo, con una extensión de 12 953.3599 Km². Posee 27 ZDV.
- Cuenca Santa, con una extensión de 11 596.5153 Km². Posee 39 ZDV y 4 zonas de transición
- Cuenca Rímac, con una extensión de 3 485.3575 Km². Posee 22 ZDV y 2 zonas de transición
- Cuenca Chillón, con una extensión de 2 210.5130 Km². Posee 21 ZDV y 3 zonas de transición
- Cuenca Lurín, con una extensión de 1 633.8095Km². Posee 19 ZDV.

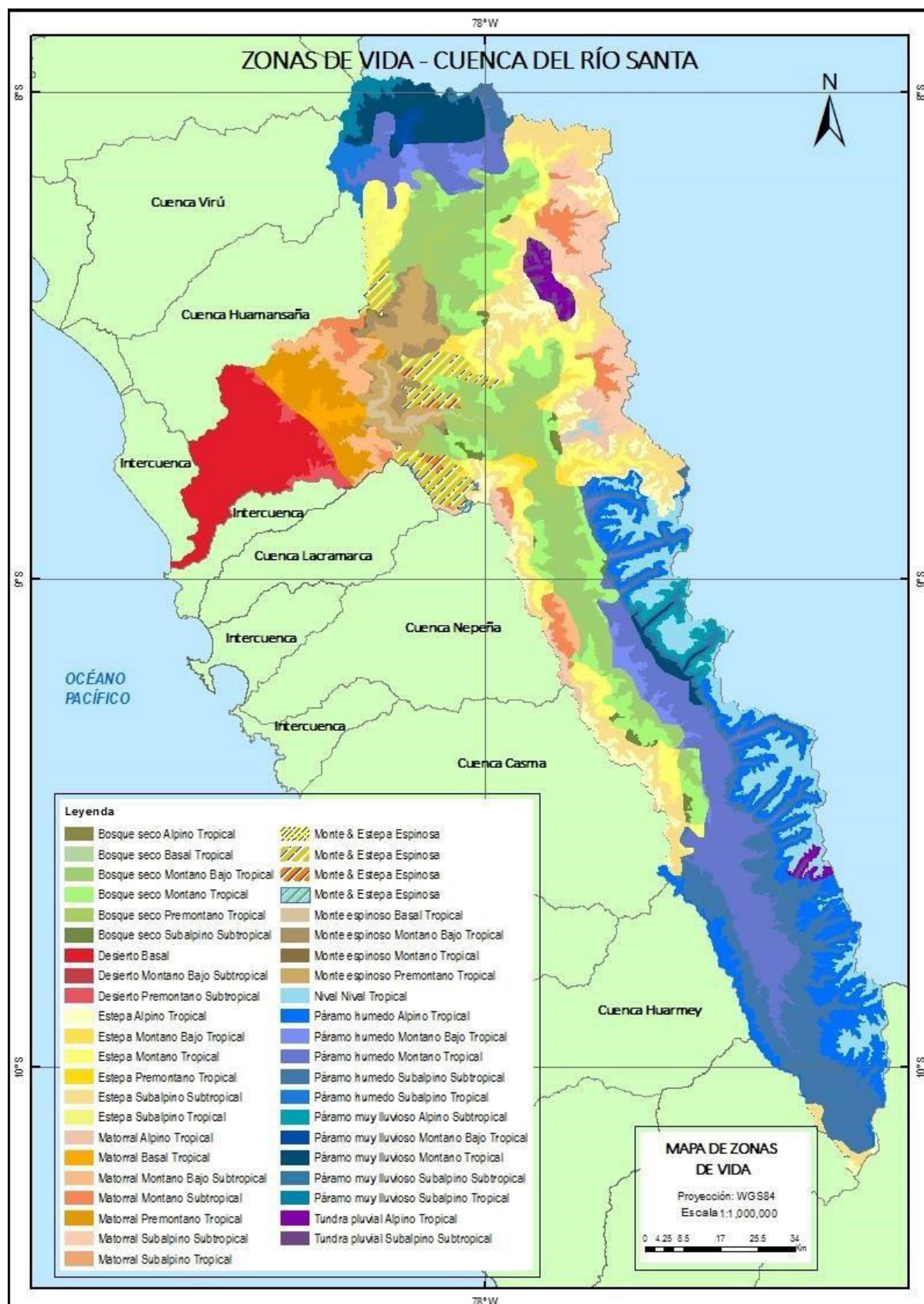


Figura 22: Zonas de vida cuenca Río Santa. Elaboración Propia.

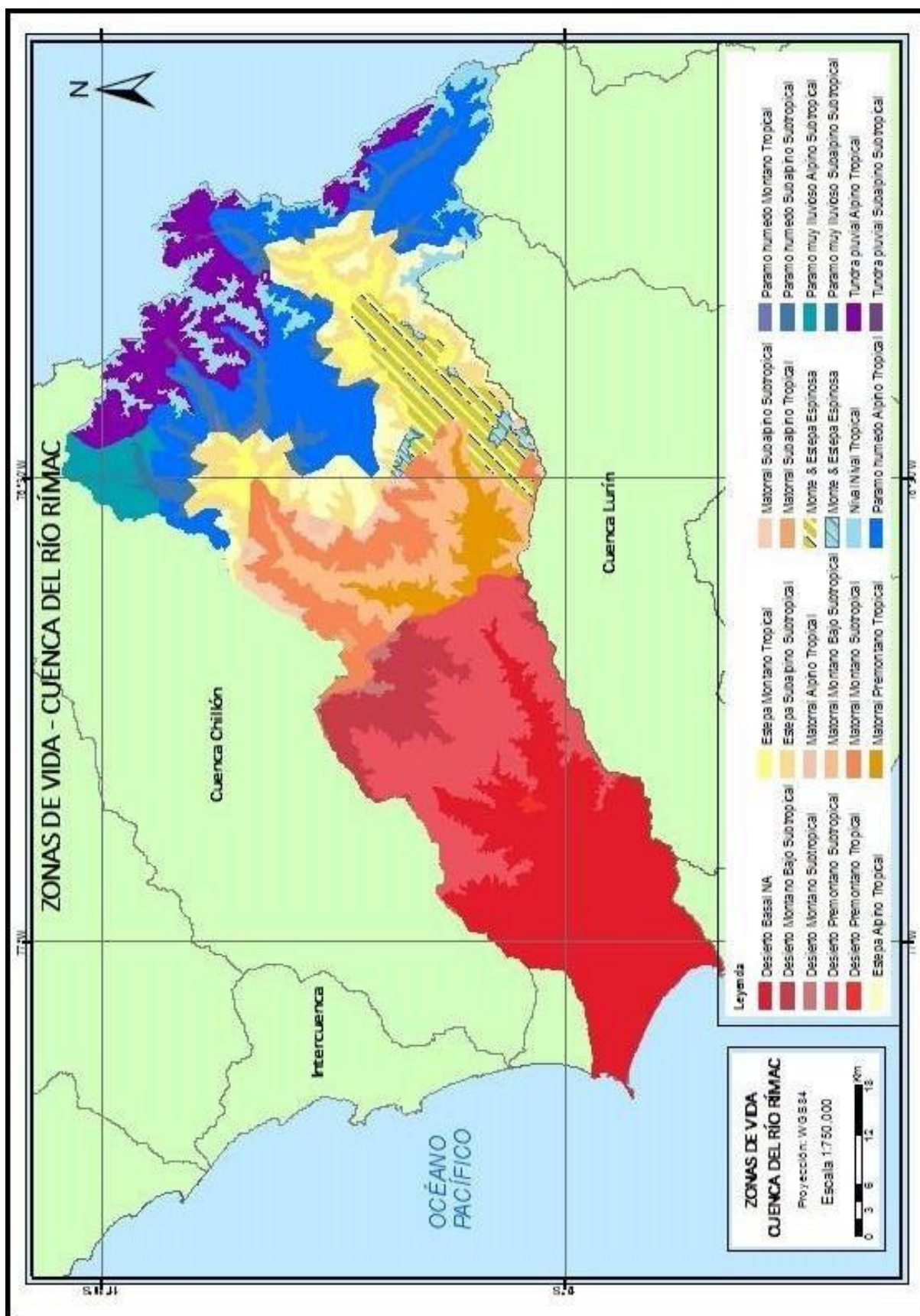


Figura 23: Zonas de vida cuenca Río Rímac. Elaboración Propia.

4.3. Las Zonas de Vida en las Áreas Naturales Protegidas (ANP)

En la Vertiente Hidrográfica del Pacífico se encuentran presentes 39 áreas Naturales Protegidas, entre las que tenemos:

- Bosque de protección:

Ambas poseen una sola Zona de Vida, que es desierto desecado basal.

- 1) Puquio Santa Rosa (La Libertad).
- 2) Aledaño a la bocatoma del canal Nuevo Imperial (Lima)

- Coto de caza:

- 1) El Angolo (Piura), en él se encuentran 6 ZDV: matorral basal Tropical, monte espinoso Basal Tropical, bosque muy seco Basal Tropical, bosque seco Basal Tropical y bosque seco Premontano Tropical.
- 2) Sunchubamba (Cajamarca), aquí podemos hallar 9 ZDV: bosque seco Premontano Tropical, bosque seco Montano Tropical, bosque seco Montano bajo Tropical, bosque seco Subalpino Tropical, páramo húmedo Montano bajo Tropical, páramo húmedo Montano Tropical, estepa Montano Tropical, monte espinoso Montano bajo Tropical y monte espinoso Premontano Tropical.

- Parque Nacional:

- 1) Cerros de Amotape (Tumbes), en él podemos encontrar 4 ZDV: monte espinoso Basal Tropical, bosque muy seco Basal Tropical, bosque seco Premontano Tropical y bosque seco Basal Tropical.
- 2) Huascarán (Ancash), posee 15 ZDV: Bosque seco Montano Bajo Tropical, Bosque seco Montano Tropical, Bosque seco Subalpino Subtropical, Estepa Alpino Tropical, Estepa Montano Tropical, Estepa Subalpino Subtropical, Nival Tropical, Paramo húmedo Alpino Tropical, Paramo húmedo Montano Tropical, Paramo húmedo Subalpino Subtropical, Paramo muy lluvioso Alpino Subtropical, Paramo muy lluvioso Montano Tropical, Paramo muy lluvioso Subalpino Subtropical, Tundra pluvial Alpino Tropical y Tundra pluvial Subalpino Subtropical.

- Refugio de Vida Silvestre

- 1) Laquipampa (Lambayeque), en él se hallan 5 ZDV: matorral Basal Tropical, monte espinoso Basal Tropical, monte espinoso Premontano Tropical, bosque seco Premontano Tropical y bosque seco Montano bajo Tropical.
- 2) Bosques Nublados de Udimá (Cajamarca), a través de sus 3 territorios podemos encontrar 11 ZDV: monte espinoso Basal Tropical, monte espinoso Premontano Tropical, monte espinoso Montano bajo Tropical, bosque seco Basal Tropical, bosque seco Premontano Tropical, bosque seco Montano bajo Tropical, páramo húmedo Premontano Tropical, páramo húmedo Montano bajo Tropical, páramo húmedo Montano Tropical, páramo muy lluvioso Montano Tropical y matorral Basal Tropical.
- 3) Los Pantanos de Villa (Lima), solo es posible hallar una Zona de Vida: desierto desecado Basal.

- Reserva Nacional

- 1) De Tumbes (Tumbes), solo posee la Zona de Vida: bosque seco Basal Tropical.
- 2) De Salinas y Aguada Blanca (Arequipa), en este podemos encontrar 16 ZDV: estepa Alpino Subtropical, estepa Montano Subtropical, estepa Subalpino Subtropical, matorral Alpino Subtropical, matorral Montano bajo Subtropical, matorral Montano Subtropical, matorral Subalpino Subtropical, Nival Subtropical, páramo húmedo Alpino Subtropical, páramo húmedo Subalpino Subtropical, páramo muy lluvioso Alpino Subtropical, páramo muy lluvioso Subalpino Subtropical, tundra húmeda Alpino Subtropical, tundra húmeda Subalpino Subtropical, tundra muy húmeda Alpino Subtropical y tundra muy húmeda Subalpino Subtropical.
- 3) Pampa Galeras Bárbara D'Achille (Ayacucho), aquí es posible encontrar 4 ZDV: estepa Montano Subtropical, estepa Subalpino Subtropical, páramo húmedo Montano Subtropical y páramo húmedo Subalpino Subtropical.
- 4) De Calipuy (La Libertad), posee 10 ZDV: desierto desecado Basal, desierto Premontano Subtropical, matorral Basal Tropical, matorral Premontano Tropical, matorral Montano bajo Subtropical, matorral Montano Subtropical, monte espinoso Basal Tropical, monte espinoso Premontano Tropical, monte espinoso Montano Tropical y monte espinoso Montano bajo Tropical.

Las Reservas Nacionales del numeral 14 al 27 solo poseen la Zona de vida de desierto desecado Basal.

- 1) De Paracas (Ica)
- 2) San Fernando (Ica)
- 3) De Lachay (Lima)
- 4) Sist. De islas, islotes y puntas guaneras – Punta San Juan (Ica)
- 5) Sist. De islas, islotes y puntas guaneras – Punta Ático (Arequipa)
- 6) Sist. De islas, islotes y puntas guaneras – Punta Coles (Moquegua)
- 7) Sist. De islas, islotes y puntas guaneras – Punta Colorado (Ancash)
- 8) Sist. De islas, islotes y puntas guaneras – Punta Culebras (Ancash)
- 9) Sist. De islas, islotes y puntas guaneras – Punta Hornillos (Arequipa)
- 10) Sist. De islas, islotes y puntas guaneras – Punta La Chira (Arequipa)
- 11) Sist. De islas, islotes y puntas guaneras – Punta La Litera (Lima)
- 12) Sist. De islas, islotes y puntas guaneras – Punta Lomas (Arequipa)
- 13) Sist. De islas, islotes y puntas guaneras – Punta Lomitas (Ica)
- 14) Sist. De islas, islotes y puntas guaneras – Punta Salinas, isla Huampanú e isla Mazorca (Lima)

■ Reserva Paisajística

- 1) Nor Yauyos–Cochas (Lima y Junín), aquí podemos encontrar 14 ZDV: Nival Tropical, Nival Subtropical, tundra pluvial Alpino tropical, tundra pluvial Alpino Subtropical, estepa Alpino Subtropical, páramo húmedo Alpino Subtropical, páramo muy lluvioso Alpino Subtropical, páramo húmedo Montano bajo Subtropical, estepa Montano Subtropical, páramo húmedo Montano Subtropical, tundra pluvial Subalpino Subtropical, estepa Subalpino Subtropical, páramo húmedo Subalpino Subtropical y páramo muy lluvioso Subalpino Subtropical.
- 2) Sub cuenca del Cotahuasi (Arequipa), posee 21 ZDV: Nival Subtropical, matorral Subalpino Subtropical, tundra pluvial Alpino Subtropical, tundra húmeda Alpino Subtropical, estepa Alpino subtropical, matorral Alpino Subtropical, páramo húmedo Alpino Subtropical, páramo muy lluvioso Alpino Subtropical, nival Alpino Subtropical, matorral basal Subtropical,

matorral Premontano Subtropical, estepa Montano bajo Subtropical, matorral Montano bajo Subtropical, estepa Montano Subtropical, matorral Montano Subtropical, páramo húmedo Montano Subtropical, tundra pluvial Subalpino Subtropical, estepa Subalpino Subtropical, matorral Subalpino Subtropical, páramo húmedo Subalpino Subtropical y páramo muy lluvioso Subalpino Subtropical.

- Santuario Histórico

- 1) Bosque de Pómac (Lambayeque), posee dos ZDV: desierto desecado Basal y matorral Basal Tropical.

- Santuario Nacional

- 1) Laguna de Mejía (Arequipa), aquí es posible hallar una zona de vida: desierto desecado Basal.
- 2) De Calipuy (La Libertad), posee una zona de vida: estepa Montano Tropical, y una Zona de transición: Monte y estepa espinosa
- 3) Los Manglares de Tumbes (Tumbes) solo posee una zona de vida: monte espinoso Basal Tropical.

- Zona Reservada

- 1) Cordillera Huayhuash (Ancash), posee 8 ZDV: Nival Tropical, tundra pluvial Alpino Tropical, tundra pluvial Subalpino Subtropical, páramo húmedo Alpino Tropical, páramo húmedo Subalpino Subtropical, estepa Alpino Tropical, estepa Montano Tropical y estepa Subalpino Subtropical.
- 2) Chancaybaños (Cajamarca) en él se encuentran dos ZDV: bosque seco Premontano Tropical y bosque seco Montano bajo Tropical.
- 3) Lomas de Ancón (Lima), posee dos ZDV: desierto desecado Basal y desierto Premontano Subtropical.
- 4) Bosque de Zárate (Lima), posee dos ZDV y una de transición: matorral Premontano Tropical, matorral Montano bajo Subtropical y monte transición a estepa espinosa Montano.
- 5) Illescas (Piura), posee una zona de vida: desierto desecado Basal.
- 6) Ancón (Lima), posee una Zona de vida: desierto desecado Basal.

4.4. Las Zonas de Vida en las Regiones Latitudinales

La región subtropical es la más predominante en la vertiente del Pacífico seguida de la región tropical y finalmente templado cálido.

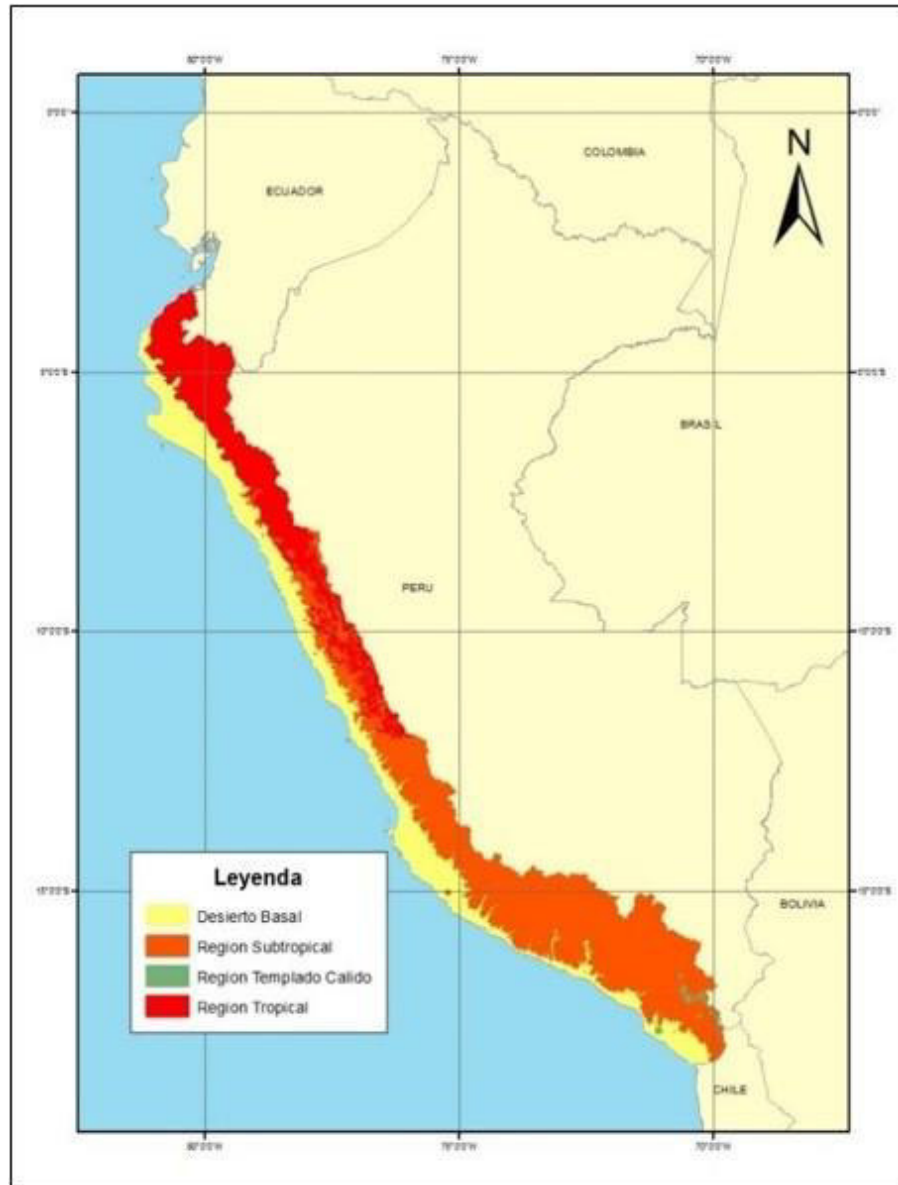


Figura 24: Regiones Latitudinales de la Vertiente del Pacífico. Elaboración Propia.

La zona más occidental del Perú es el Desierto basal y abarca regiones latitudinales Tropicales y subtropicales.

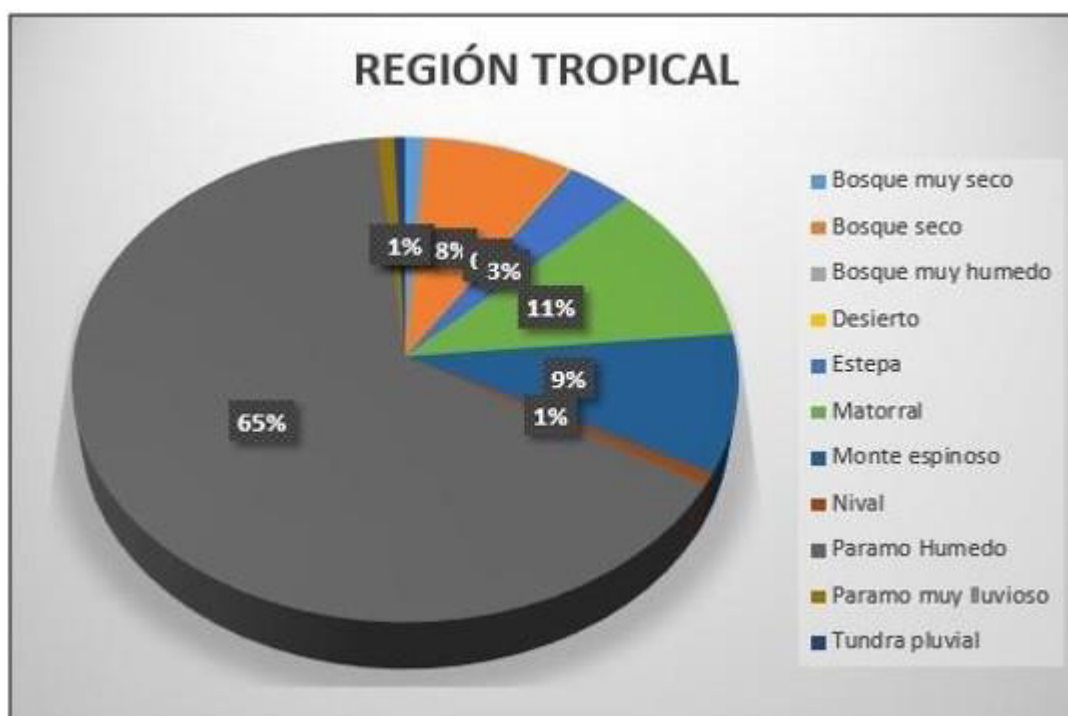


Figura 25: Dentro de la Región Tropical (Exceptuando al Desierto Basal), la zona de vida con mayor área es el Páramo Húmedo, con una extensión de 103227.93 Km^2 , seguido de Matorral con una extensión de 17220.31 Km^2 , El Monte espinoso Abarca un área de 14677.35 Km^2 , además del Bosque seco con un área de 12619.70 Km^2 . Elaboración Propia.

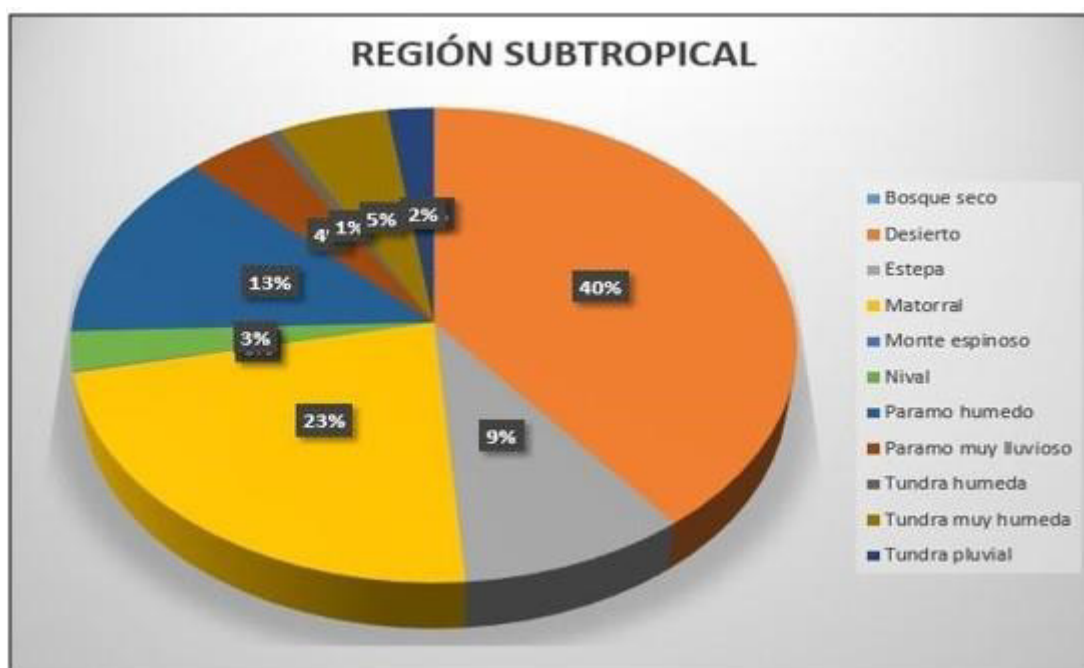


Figura 26: En la región subtropical sin contar con el desierto basal, las Zonas de vida más predominantes son: Desierto con una extensión de 57405.97 Km^2 , Matorral con un área de 33337.41 Km^2 , Páramo húmedo con un área de 19008.52 Km^2 y Estepa con un área de 13499.51 Km^2 . Elaboración Propia.



Figura 27: En la región Templado cálido, sin incluir la zona de desierto Basal, nos encontramos con los siguientes valores de área: Desierto con una extensión de 314.60 Km^2 , Matorral con un área de 1207.42 Km^2 , y Nival con un área de 478.59 Km^2 . Elaboración Propia.

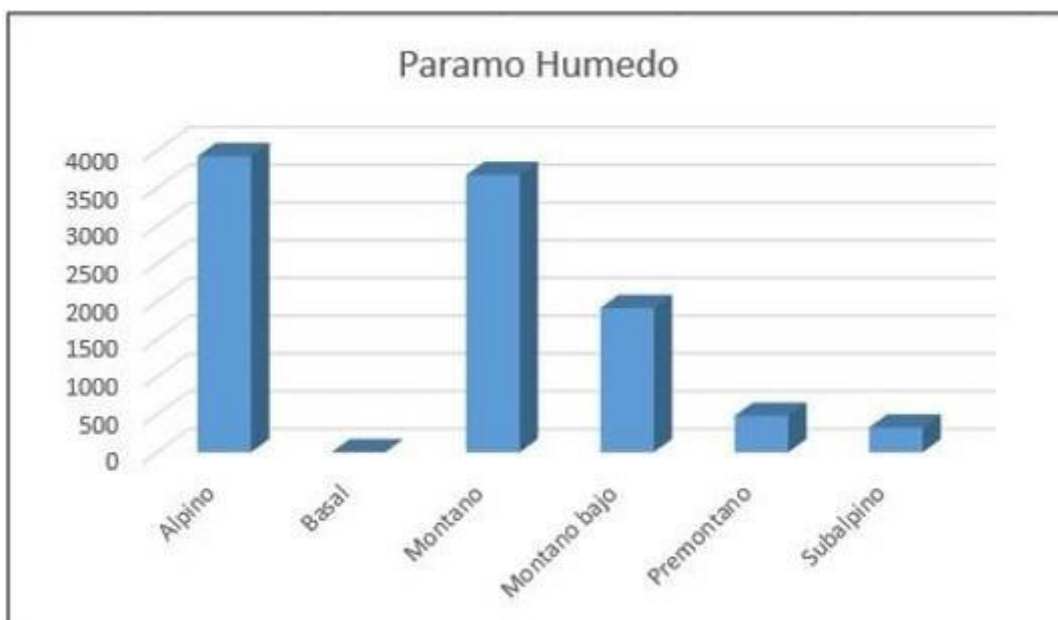


Figura 28: Dentro de la Región Tropical la zona de Vida paramo húmedo con respecto a pisos altitudinales, presenta mayores valores en cuanto a área en los pisos: Alpino con 3925.16 Km^2 , Montano con 3675.49 Km^2 y Montano bajo con 1912.81 Km^2 . Elaboración Propia.

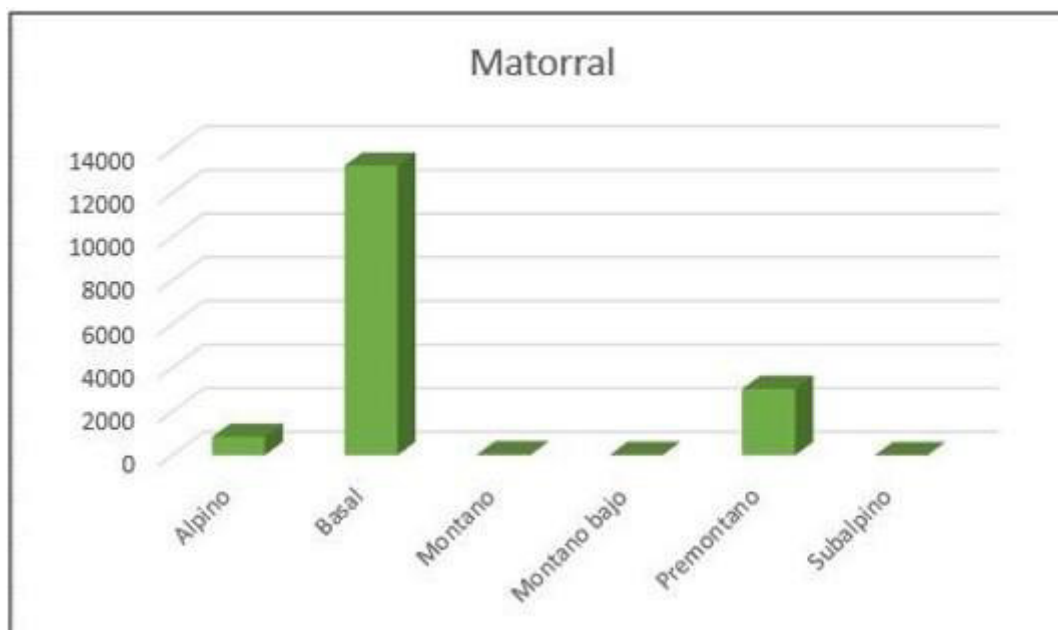


Figura 29: De igual forma la zona de Matorral con respecto a sus pisos altitudinales presenta la siguiente distribución: Mayoritariamente Basal con una extensión de 13268.19 Km^2 seguido de Premontano con un área de 3043.55 Km^2 y Alpino con 841.43 Km^2 .Elaboración Propia.

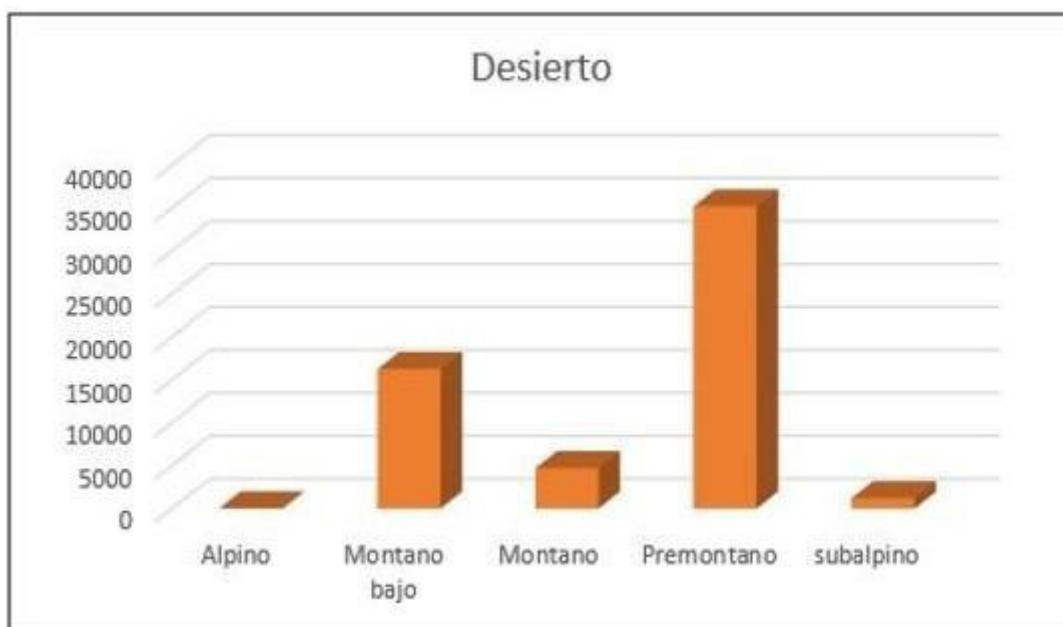


Figura 30: En la región Subtropical el desierto es una de las zonas más predominantes, las distribuciones con respecto a los pisos altitudinales en la región subtropical (sin contar con el desierto basal) serían: Premontano con un área de 35183.14 Km^2 , seguido de Montano bajo con un área de 16247.92 Km^2 y Montano con un área de 4710.46 Km^2 .Elaboración Propia.

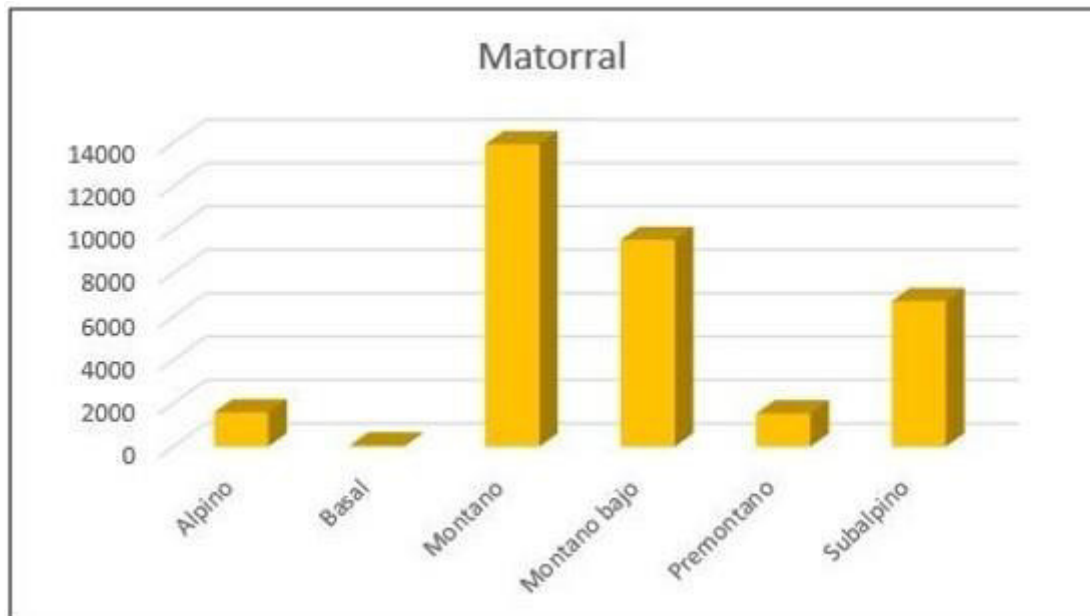


Figura 31: La zona de Matorral también está presente en gran medida en la región Subtropical y respecto a los pisos altitudinales se encuentran en la siguiente distribución: Montano con un área de 13936.49 Km^2 , seguido de Montano bajo con un área de 9523.83 Km^2 y Subalpino con una extensión de 6708.40 Km^2 .Elaboración Propia.

4.5. Comparación con el Mapa de Zonas de Vida de Holdridge elaborado por ONERN

Cuadro 7: Zonas de Vida encontradas en la Vertiente del Pacífico en el mapa elaborado por ONERN:

Zona de Vida ONERN	Zona de Vida Obtenida
1. Bosque muy seco tropical	1. Bosque muy seco basal tropical
2. Bosque seco Montano bajo Tropical	2. Bosque muy seco Premontano tropical
3. Bosque seco Premontano Tropical	3. Bosque seco alpino tropical
4. Bosque seco Tropical	4. Bosque seco basal tropical
5. Bosque húmedo Montano Subtropical	5. Bosque seco montano bajo tropical
6. Bosque húmedo Montano Tropical	6. Bosque seco montano tropical
7. Bosque húmedo Premontano Tropical	7. Bosque seco Premontano tropical
8. Bosque muy húmedo Montano Tropical	8. Bosque seco subalpino subtropical
9. Bosque pluvial Montano Subtropical	9. Bosque seco subalpino tropical
10. Bosque húmedo Montano bajo Tropical	10. Bosque muy húmedo montano bajo tropical
11. Bosque pluvial Premontano Tropical	11. Bosque muy húmedo montano tropical
12. Desierto árido Montano Subtropical	12. Desierto alpino subtropical
13. Desierto árido Montano Templado Cálido	13. Desierto alpino templado cálido
14. Desierto árido Montano Tropical	14. Desierto alpino tropical
15. Desierto desecado Montano bajo Subtropical	15. Desierto basal NA*
16. Desierto desecado Premontano Tropical	16. Desierto basal subtropical
17. Desierto desecado Subtropical	17. Desierto montano bajo subtropical
18. Desierto desecado Templado cálido	18. Desierto montano bajo tropical
19. Desierto perárido Montano Bajo Subtropical	19. Desierto montano subtropical
20. Desierto perárido Montano Bajo Tropical	20. Desierto montano templado cálido
21. Desierto perárido Montano Subtropical	21. Desierto Premontano subtropical
22. Desierto perárido Montano Templado cálido	22. Desierto Premontano templado cálido
23. Desierto perárido Premontano Tropical	23. Desierto Premontano tropical
24. Desierto perárido Subtropical	24. Desierto subalpino subtropical
25. Desierto perárido Templado cálido	25. Desierto subalpino templado cálido
26. Desierto semiárido Subalpino Subtropical	26. Estepa alpino subtropical
27. Desierto semiárido Subalpino Templado cálido	27. Estepa alpino tropical
28. Desierto superárido Montano bajo Subtropical	28. Estepa montano bajo subtropical
29. Desierto superárido Premontano Tropical	29. Estepa montano bajo tropical
30. Desierto superárido Subtropical	30. Estepa montano subtropical
31. Desierto superárido Templado cálido	31. Estepa montano tropical
32. Desierto superárido Tropical	32. Estepa Premontano subtropical
33. Estepa espinosa Montano Bajo Subtropical	33. Estepa Premontano tropical
34. Estepa espinosa Montano Bajo Tropical	34. Estepa subalpino subtropical
35. Estepa Montano Subtropical	35. Estepa subalpino tropical
36. Estepa Montano Tropical	36. Matorral alpino subtropical
37. Matorral desértico Montano Bajo Subtropical	37. Matorral alpino templado cálido
38. Matorral desértico Montano Bajo Tropical	38. Matorral alpino tropical
39. Matorral desértico Montano Subtropical	39. Matorral basal subtropical
40. Matorral desértico Montano Templado cálido	40. Matorral basal tropical
41. Matorral desértico Montano Tropical	41. Matorral montano bajo subtropical
42. Matorral desértico Premontano Tropical	42. Matorral montano bajo tropical
43. Matorral desértico Subalpino Subtropical	43. Matorral montano subtropical
44. Matorral desértico Subalpino Templado cálido	44. Matorral montano templado cálido
45. Matorral desértico Subalpino Tropical	45. Matorral montano tropical
46. Matorral desértico Subtropical	46. Matorral Premontano subtropical
47. Matorral desértico Templado cálido	47. Matorral Premontano templado cálido
48. Matorral desértico Tropical	48. Matorral Premontano tropical
49. Monte espinoso Premontano Tropical	49. Matorral subalpino subtropical
50. Monte espinoso Tropical	50. Matorral subalpino templado cálido
51. Nival Subtropical	51. Matorral subalpino tropical
52. Nival Templado cálido	52. Monte espinoso basal tropical
53. Nival Tropical	53. Monte espinoso montano bajo subtropical
54. Páramo húmedo Subalpino Subtropical	54. Monte espinoso montano bajo tropical
55. Páramo húmedo Subalpino Tropical	
56. Páramo muy húmedo Subalpino Subtropical	

57. Páramo pluvial Subalpino Subtropical	55. Monte espinoso montano tropical
58. Páramo pluvial Subalpino Tropical	56. Monte espinoso Premontano subtropical
59. Tundra húmeda Alpino Subtropical	57. Monte espinoso Premontano tropical
60. Tundra húmeda Alpino Templado cálido	58. Nival alpino subtropical
61. Tundra muy húmeda Alpino Subtropical	59. Nival subtropical
62. Tundra pluvial Alpino Subtropical	60. Nival templado cálido
63. Tundra pluvial Alpino Tropical	61. Nival tropical
	62. Paramo húmedo alpino subtropical
	63. Paramo húmedo alpino tropical
	64. Paramo húmedo basal tropical
	65. Paramo húmedo montano bajo subtropical
	66. Paramo húmedo montano bajo tropical
	67. Paramo húmedo montano subtropical

- En el mapa elaborado por ONERN, a nivel nacional se encontraron 84 ZDV y 17 de carácter transicional, para la vertiente del Pacífico se calcularon 63. En el trabajo realizado se pudieron hallar 86 ZDV y 5 de carácter transicional solo para la vertiente hidrográfica del Pacífico. La Zona con mayor extensión es el desierto basal.
- A nivel de todas las cuencas de la Vertiente hidrográfica del Pacífico, la Cuenca del Río Santa (5° más grande de la vertiente) es la que posee mayor cantidad y variedad de ZDV, con 39 ZDV y 4 de carácter transicional.
- En lo que respecta a la Región Lima y a las cuencas que la abastecen, la cuenca del Río Rímac es la que tiene la mayor cantidad con 22 ZDV y 2 de carácter transicional.
- En relación a las Áreas Naturales Protegidas, de las 39 ANP que se encontraron en la Vertiente del Pacífico, la Reserva paisajística de la Sub cuenca del Cotahuasi (Arequipa) es la que posee mayor cantidad con 22 ZDV.
- Referente a la zona de vida de bosque, han variado de “bosque muy húmedo”, “bosque muy húmedo “bosque pluvial ” a “bosque muy seco”, “bosque seco”, en la anterior versión del mapa no aparecía la denominación “bosque muy seco”, más si aparecía la denominación “bosque pluvial”, cosa que no aparece en las Zonas determinadas en este trabajo.
- La Zona de vida estepa en el mapa de ONERN solo se apreciaba en 3 variantes, en la actualidad es posible encontrar 10 ZDV de este tipo.

5. CONCLUSIONES

Las ZDV del mundo propuestas por Holdridge nos ayudan a clasificar grupos de asociaciones relacionadas entre sí, a través de efectos como la temperatura, precipitación y humedad. Este sistema de clasificación de formaciones vegetales presentes en todo el mundo, ha sido utilizado en este trabajo para elaborar el mapa de ZDV presentes en la Vertiente del Pacífico en la actualidad. Siendo la precipitación y la biotemperatura los factores limitantes, estos fueron obtenidos de manera confiable de estaciones meteorológicas proporcionadas por SENAMHI e imágenes satelitales, esta información fue fusionada mediante técnicas de geoestadística, con el fin de obtener mayor y mejor data en la vertiente trabajada. Empleando estos datos producidos se determinaron 86 ZDV y 5 de carácter transicional en la Vertiente Hidrográfica del Pacífico.

El producto final se encuentra a una resolución espacial de 5Km, lo que resulta en una mejora ya que al existir solo 316 en la toda la costa, nos da una densidad meteorológica de 1 estación para 880 Km² aproximadamente. Por otro lado, con respecto a las especificaciones técnicas, el nivel de estudio es Exploratorio, contándose con una escala de 1:3'750,000 para el mapa final.

Los productos de sensores remotos añadidos a la base de datos de estaciones meteorológicas permiten obtener información confiable, así como sus patrones y variabilidad espacial.

El acoplamiento de datos estimados a partir de sensores remotos junto con los datos observados desde estaciones meteorológicas, nos permiten obtener un mapa de precipitación con datos concentrados a una mejor resolución espacial.

En este sentido, la representación de la variabilidad espacial y patrones basados en la precipitación, es consistente con la realidad, teniendo en cuenta la baja densidad de la red meteorológica. Asimismo, los resultados muestran correspondencia sobre los patrones existentes en la vertiente del Pacífico, tales como los efectos orográficos producidos por los vientos alisios y las gradientes topográficas. Por otro lado tenemos la influencia de la corriente de Humboldt, lo que da como resultado las condiciones secas presentes en la costa, que se ven invertidas al incrementarse la precipitación con la presencia del Fenómeno del Niño, convirtiéndose este en el principal factor de variabilidad.

Variabilidad espacial y los gradientes de temperatura válidos a partir de las imágenes satelitales MODIS.

Las imágenes MODIS representan de manera correcta la gradiente de temperatura presente en la vertiente del pacifico, en la transición a través de la cordillera de los Andes, correspondiente a $-0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Asimismo, la variabilidad espacial de la temperatura, basado en el relieve, distancia al mar, vegetación, población, entre otros, son observados de forma adecuada y correspondiente a la realidad presente en el área de estudio.

El uso de covariables mejora la calidad de los datos para la determinación del Mapa de Zonas de Vida.

Los elementos determinantes en la elaboración del Mapa de ZDV, son principalmente los datos: precipitación y temperatura, así como un correcto método geoestadístico para la interpolar y completar la data a nivel espacial, tanto para el procesamiento y como para la validación de los resultados. Asimismo para complementar y corregir los datos obtenidos, se utilizaron covariables que explicaban de manera correcta el comportamiento de los datos. Debemos tener en cuenta que esto va a depender de la naturaleza de los datos, en este caso se manejaron datos provenientes de estaciones meteorológicas como también de sensores remotos debido a la baja densidad de la red meteorológica.

Reconocer si las Áreas naturales protegidas (ANP) cubren un área representativa de las ZDV nos permite la preservación de la biodiversidad así como la gestión, conservación y uso racional de los recursos naturales.

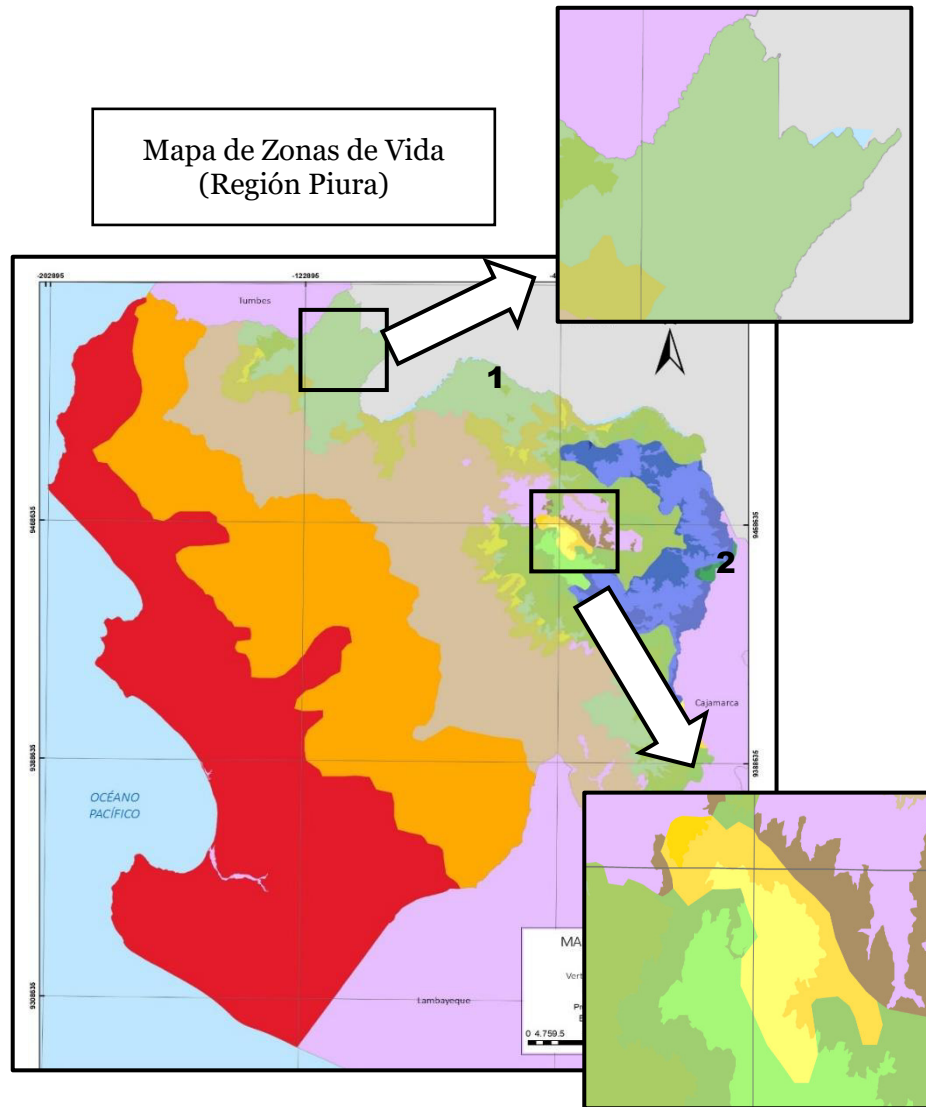
En la Vertiente del Pacífico es posible encontrar 39 áreas Naturales Protegidas, que abarcan 19947.67 Km² (7.1 %) de los 282,821.16Km² que posee la vertiente. En ella se hallan 9 de las 10 categorías que existen actualmente. La Reserva paisajística de la Sub cuenca del Cotahuasi (Arequipa) es la que cuenta con la mayor cantidad con 22 ZDV en sus 490 550 Hectáreas. Esta información en conjunto, nos demuestra que es importante la determinación de las ZDV en las ANP para mejorar y facilitar su conservación, cuidado y gestión teniendo en cuenta las características que estas presentan al poseer cierta zona de vida.

Finalmente, se concluye que los resultados obtenidos en este estudio son acertados, ya que al compararse con el estudio de Zonificación Ecológica y Económica de dos regiones ubicadas en el área de estudio (Piura y Arequipa), estas tienen correspondencia. Como se puede observar en la **Comparación N°1**, realizada para la región Piura, en el punto 1, en el Mapa de ZDV resulta en Bosque seco montano tropical, el cual tiene la siguiente reseña: vegetación natural primaria de bosque pluviofolio conformado por arboles relativamente delgados, arbustos y gramíneas, cuenta con potencial agrícola con riego suplementario y en el mapa de ZEE describe: zonas aptas para pastos de calidad agrícola media, Área Natural Protegida Cerros de Amotape y Zonas para protección y conservación ecológica. En el punto 2, encontramos en ZDV, Estepa Montano y Montano bajo Tropical, descrita como: zonas con vegetación estacional de pastos y arbustos, con potencial agrícola siendo necesario contar con riego; por otro lado en la ZEE se halla, Zonas aptas para pastos con calidad agrologica baja y media.

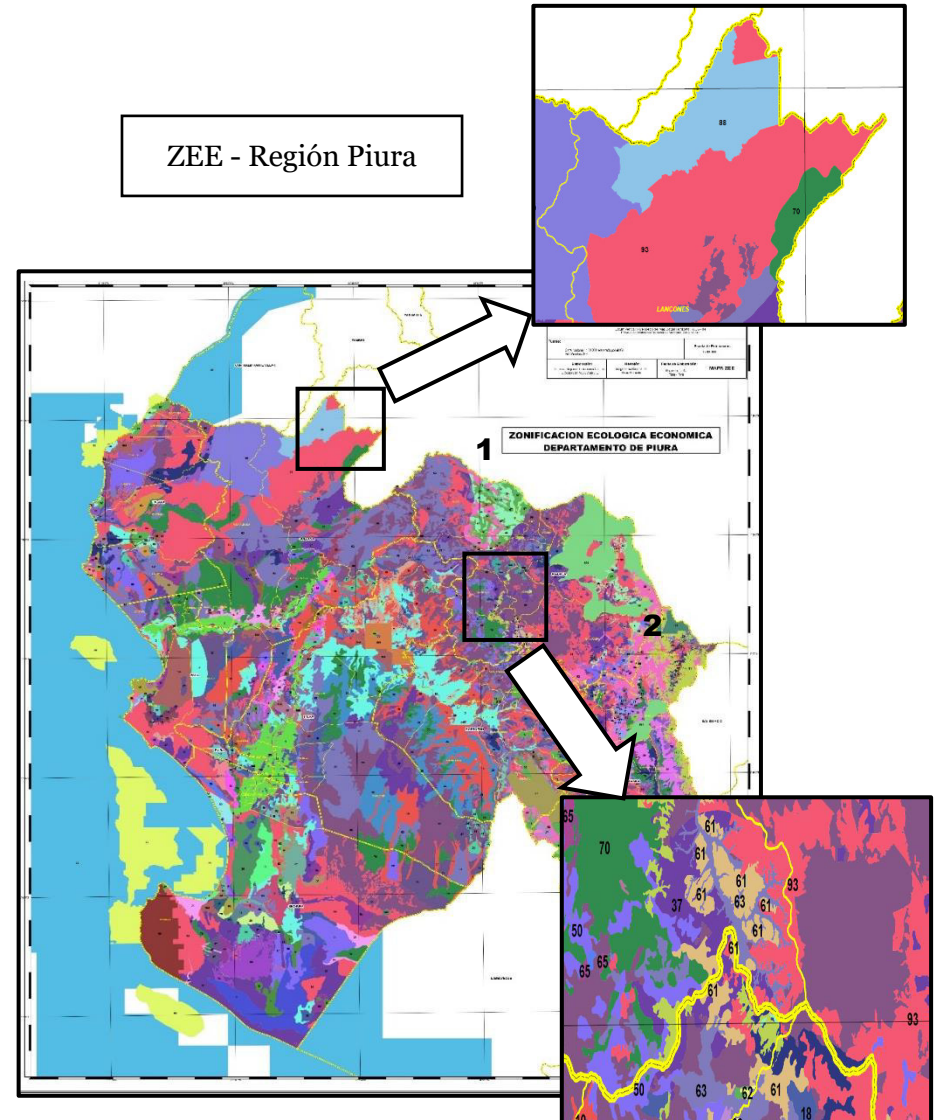
De la misma forma, en la **Comparación N°2**, en el punto 1, en el mapa de ZVD de encuentra la zona Desierto Montano Subtropical cuya definición resalta la presencia de arbustos y cactáceas, apto para cultivos con riego permanente, y en el mapa de ZEE hallamos zona con aptitud para la producción de pastos naturales o cultivados con potencial minero metálico. En el punto 2, se distingue la ZDV nival, mientras que en la ZEE se nota la presencia de nevados (Ampato, Sabancaya)p, lo que es correspondiente a la descripción de la zona de vida en mención.

Comparación N°1

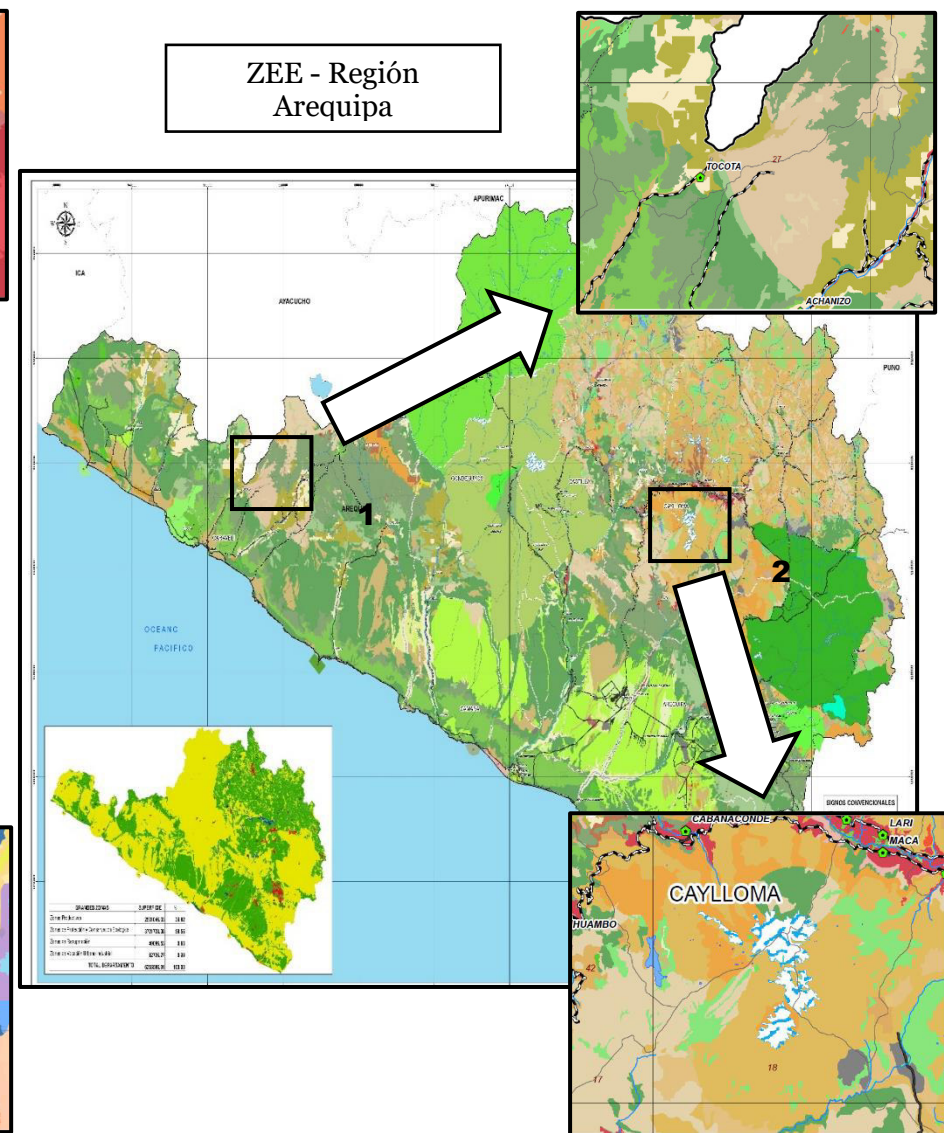
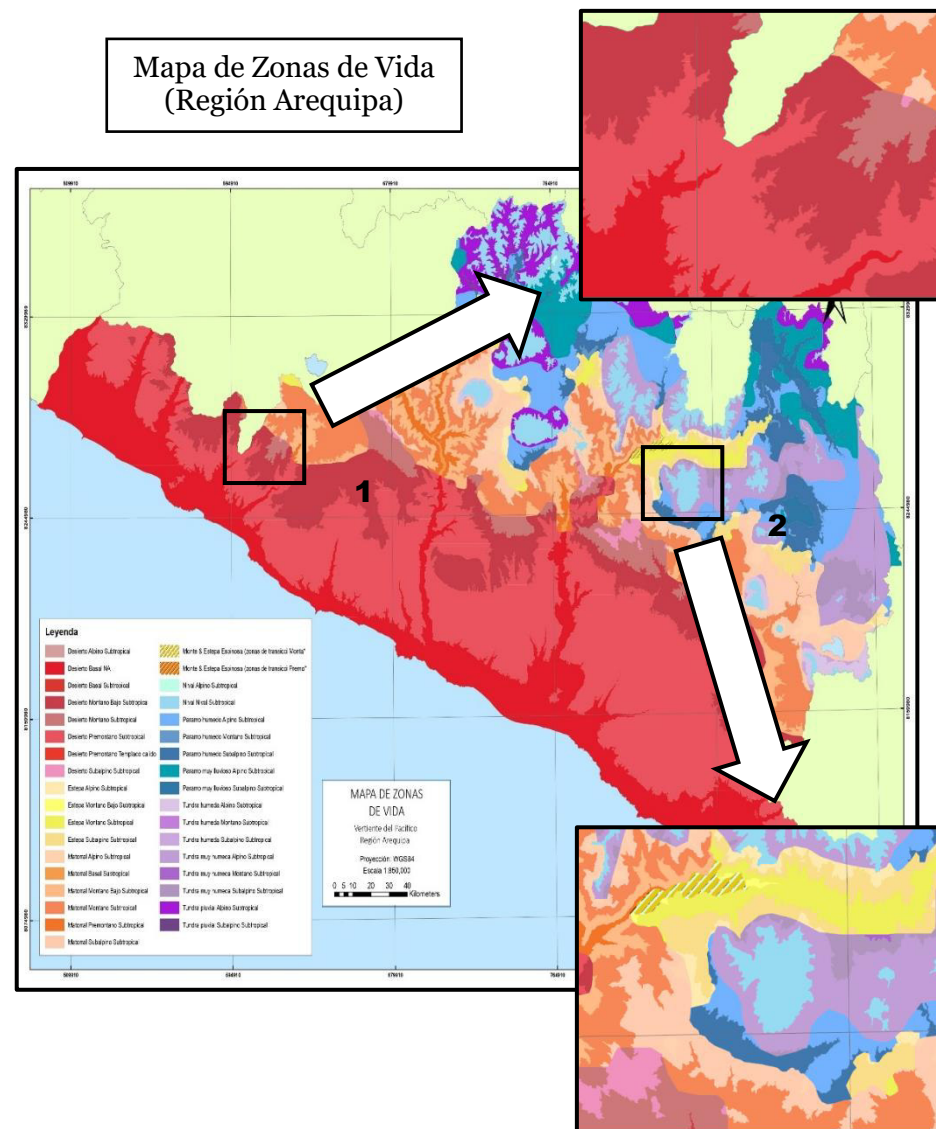
Mapa de Zonas de Vida
(Región Piura)



ZEE - Región Piura



Comparación N°2



6. RECOMENDACIONES

Es recomendable señalar ciertos aspectos con el fin de ayudar a ampliar los conocimientos sobre el tema de investigación, así como también para dar recomendaciones en cuanto a la actualización del mapa de ZDV, por ende, se tiene:

- Elevar la cantidad de estaciones meteorológicas e hidrométricas, ya que, debido a la escasa densidad de estaciones con respecto al Perú, hacen que se deba recurrir a interpolaciones, que, si bien pueden llegar a tener un alto grado de precisión, este subiría al contar con una mejor red de estaciones meteorológicas a nivel nacional.
- Contar con puntos de verificación a fin de corroborar los resultados obtenidos en el estudio, si bien es posible realizar una comparación de determinadas zonas, apoyándonos con un mapa de cobertura vegetal, es recomendable también hacerlo de manera presencial, comparando especies vegetales, planteando una red de toma de puntos de verificación.
- Focalizar las zonas de estudio si se desea utilizar como herramienta para desarrollar proyectos como ZEE's, entre otras que puedan ayudar al ordenamiento territorial.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Allred, P. A. (2016). Geostatistical Analysis of the spatial distribution of precipitation in the San Francisco Bay Area from 1890 to 2013: A GIS Approach.
- 2) Baum B, P. S. (2006). Introduction to MODIS cloud products. In: Earth science satellite remote sensing.
- 3) Bernard, S. M. (2007). Analysis of External Drift Kriging Algorithm with application to precipitation estimation in complex orography.
- 4) Bookhagen, B., & Strecker, M. . (2008). Orographic barriers, high-resolution TRMM rainfall, and relief variations along the eastern Andes.
- 5) Campbell, J. B. (1987). *Introduction to REMOTE SENSING*.
- 6) Chakraborty, A., & Joshi, P. . (2013). Assessing biome boundary shifts under climate change scenarios in India.
- 7) Cheval S, D. A. (2009). The July urban heat island of Bucharest as derived from MODIS images.
- 8) Chuvieco, E. (2008). *Teledeteccion Ambiental : La observacion de la Tierra desde el Espacio*.
- 9) Della-Marta, P. M., & Wanner, H. (2006). A Method of Homogenizing the Extremes and Mean of Daily Temperature Measurements.
- 10) Deutsch, C. V. (1996). Correcting for negative weights in ordinary kriging. Comput.
- 11) Dinku, T., S. J. C. (2010). Comparison of CMORPH and TRMM-3b42 over mountainous regions of Africa and South America, in Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology.
- 12) DPE. (2007). Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación. *Directiva Del Parlamento Europeo*.
- 13) Espinoza-Villar, J. C. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador).
- 14) FAO. (2006). EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO Guías para la determinación

- de los requerimientos de agua de los cultivos. *ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE*.
- 15) Feng, S., Hu, Q., & Qian, W. (2004). Quality control of daily meteorological data in China.
 - 16) Francois, J. (2011). Aplicaciones del Sensor MODIS para el monitoreo del territorio.
 - 17) Griffiths, G. ., Salinger, M. ., & Leleu, I. (2003). Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific convergence zone.
 - 18) HC, H., F, M., J, M., & F, N. (2007). Model comparison and selection for stationary space-time models.
 - 19) Giraldo, R. (2002). Introducción a la geoestadística, Teoría y aplicación. *Universidad Nacional de Colombia*.
 - 20) Hengl, T. (2009). A practical guide to geostatistical mapping. University of Amsterdam, Amsterdam.
 - 21) Hernandez, E. R. (2001). El Efecto Invernadero.
 - 22) Hinkley, E. (2011). Una revision del uso de modis para el mapeo y monitoreo de las cubiertas terrestres.
 - 23) Holdridge, L. R. (1967). Life Zone Ecology.
 - 24) Huete, A. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices.
 - 25) Hunink, J. E., W. W. (2014). A High-resolution Precipitation 2-step mapping Procedure (HiP2p): Development and application to a tropical mountainous area, Remote Sens. Environ.
 - 26) Hunziker, S. (2017). Identifying, attributing, and overcoming common data quality issues of manned station observations.
 - 27) Iguchi, T. (2009). Uncertainties in the rain profiling algorithm for the TRMM precipitation radar.
 - 28) IPCC. (2007). Glosary IPCC. *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
 - 29) Zamora Jimeno, C.(2009). Diagrama Bioclimático de Zonas de Vida del Sistema de

Holdridge Adaptado e Interpretado a la Geografía del Perú.

- 30) Kyriakidis, P. C., & Journel, A. G. (1999). Geostatistical space–time models: a review.
- 31) Lavado, W. (2009). TRMM rainfall data estimation over the Peruvian Amazon-Andes basin and its assimilation into a monthly water balance model TRMM rainfall data estimation over the Peruvian Amazon- Andes basin and its assimilation into a monthly water balance.
- 32) Lavado Casimiro, W. S., Ronchail, J., Labat, D., Espinoza, J. ., & Guyot, J. . (2012). Basin-scale analysis of rainfall and runoff in Peru (1969–2004): Pacific, Titicaca and Amazonas drainages.
- 33) Leeuwen, T. T. van, Frank, A. J., Jin, Y., Smyth, P., Goulden, M. L., Werf, G. R. van der, & Randerson, J. T. (2011). Optimal use of land surface temperature data to detect changes in tropical forest cover.
- 34) Liszka, L. (2004). Cognitive information processing in space physics and astrophysics, astro- nomy and astrophysics series, 13.
- 35) Loayza, E. S. C. (2014). Evaluación de Imágenes Satelitales de Precipitaciones (TRMM 3B43 mensual) en Región Costa, Sierra y Oriente del Ecuador.
- 36) Manz, B. (2015). High-resolution satellite-gauge merged precipitation climatologies of the Tropical Andes. *AGU Publications*.
- 37) Menne, M. J., & Jr, C. N. W. (2009). Homogenization of Temperature Series via Pairwise Comparisons.
- 38) Neteler, M. (2010). Estimating daily land surface temperatures in mountainous environments by reconstructed MODIS LST data.
- 39) Noel, C. (1991). Statistics for spatial data.
- 40) Olaya, V. (2004). *Sistemas de Informacion Geografica*.
- 41) OMM/UNESCO. (1974). Glosario Internacional de Hidrologia.
- 42) ONERN. (1976). Mapa Ecologico del Peru Guia Explicativa. *OFICINA NACIONAL DE EVALUACION DE RECURSOS NATURALES*.

- 43) Petitcolin, F., & Vermote, E. (2002). Land surface reflectance, emissivity and temperature from MODIS middle and thermal infrared data.
- 44) PNUD. (2007). Informe sobre el Desarrollo Humano. *PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO*.
- 45) PUCC. (2008). Conceptos Generales de Sensores Remotos. *Pontificie Universidad Catolica de Chile*.
- 46) Reek, T., Doty, S. ., & Owen, T. . (1992). A Deterministic Approach to the Validation of Historical Daily Temperature and Precipitation Data from the Cooperative Network.
- 47) Reuter, H. . (2007). An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data.
- 48) Saa, H. J. (1982). Anatomía del Sistema de Clasificación de Holdridge.
- 49) T.Garcia. (2011). Evaluacion de imagenes del sensor MODIS para la cartografia de cobertura del suelo en una region altamente diversa en mexico.
- 50) Tarnavsky, E., M. (2012). Spatial disaggregation and intensity correction of TRMM-based rainfall time series for hydrological applications in dryland catchments.
- 51) Thevakaran, A. (2017). Theoretical and Applied Climatology.
- 52) UNCCD. (1994). ELABORACION DE UNA CONVENCION INTERNACIONAL DE LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACION EN LOS PAISES AFECTADOS POR SEQUIA GRAVE O DESERTIFICACION, EN PARTICULAR EN AFRICA. *United Nations Convention to Combat Desertification*.
- 53) USGS. (2011). MODIS Overview. *United States Geological Survey*.
- 54) Vicente-Serrano, S. . (2003). Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): Application to annual precipitation and temperature.
- 55) Vincent, L. A., & Zhang, X. (2002). Homogenization of Daily Temperatures over Canada.
- 56) Wan, Z. (1999). MODIS Land-Surface temperature algorithm theoretical basis document. *University of California*.

- 57) Wan Z, Zhang Y, Zhang Q, L. Z. (2004). Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature.
- 58) Wellington, A. V. (1999). Determinación de la zonas de vida en la provincia de Los Ríos de acuerdo a la metodología de Holdridge. *Universidad Agraria Del Ecuador*.
- 59) Comision Tecnica Regional Junin (2015) Memoria descriptiva del Estudio Climatico y Zonas de Vida del Departamento de Junin a Escala 1:100000
- 60) Thornthwaite CW (1948) An approach toward a rational classification of climate. American Geographical Society.
- 61) Bocco, G. (2000) Ciencia, comunidades indígenas y manejo de recursos naturales – Un caso de investigación participativa. Nterciencia.
- 62) Martin, F (1985) Using ageografic information system for forest land mapping and magnament. Photogrametric Engineering and Remote Sensing.
- 63) Rodriguez E. (2005) Manual para el Manejo y procesamiento de imágenes Satelitales Obtenidas del Sensor Remoto MODIS de la NASA, Aplicado en Estudios de Ingeniería Civil.
- 64) Proyecto de Cooperación UE-CAN en Materia de Estadísticas (2007), Glosario de Terminos Estadísticos - Cuarta Reunión de Expertos Gubernamentales en Difusion de la Información Estadística.
- 65) Lavado W. y Aybar C. (2017). Atlas de Zonas de Vida del Peru - Guia Explicativa.
- 66) Jiménez M., Chain A. y Locatelli B. (2010) Efectos del cambio Climatico en la Distribucion de Zonas de Vida en Centro America.
- 67) Matheron G. (1963) Principles of Geostatistics.
- 68) Gobierno Regional de Piura - Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestion del Medio Ambiente (2012) Desarrollo de Capacidades para el Ordenamiento Territorial en el Departamento de Piura.
- 69) Gobierno Regional de Arequipa-Autoridad Regional Ambiental (2011) Zonificacion Ecologica y Economica de la Region de Arequipa

8. Anexos:

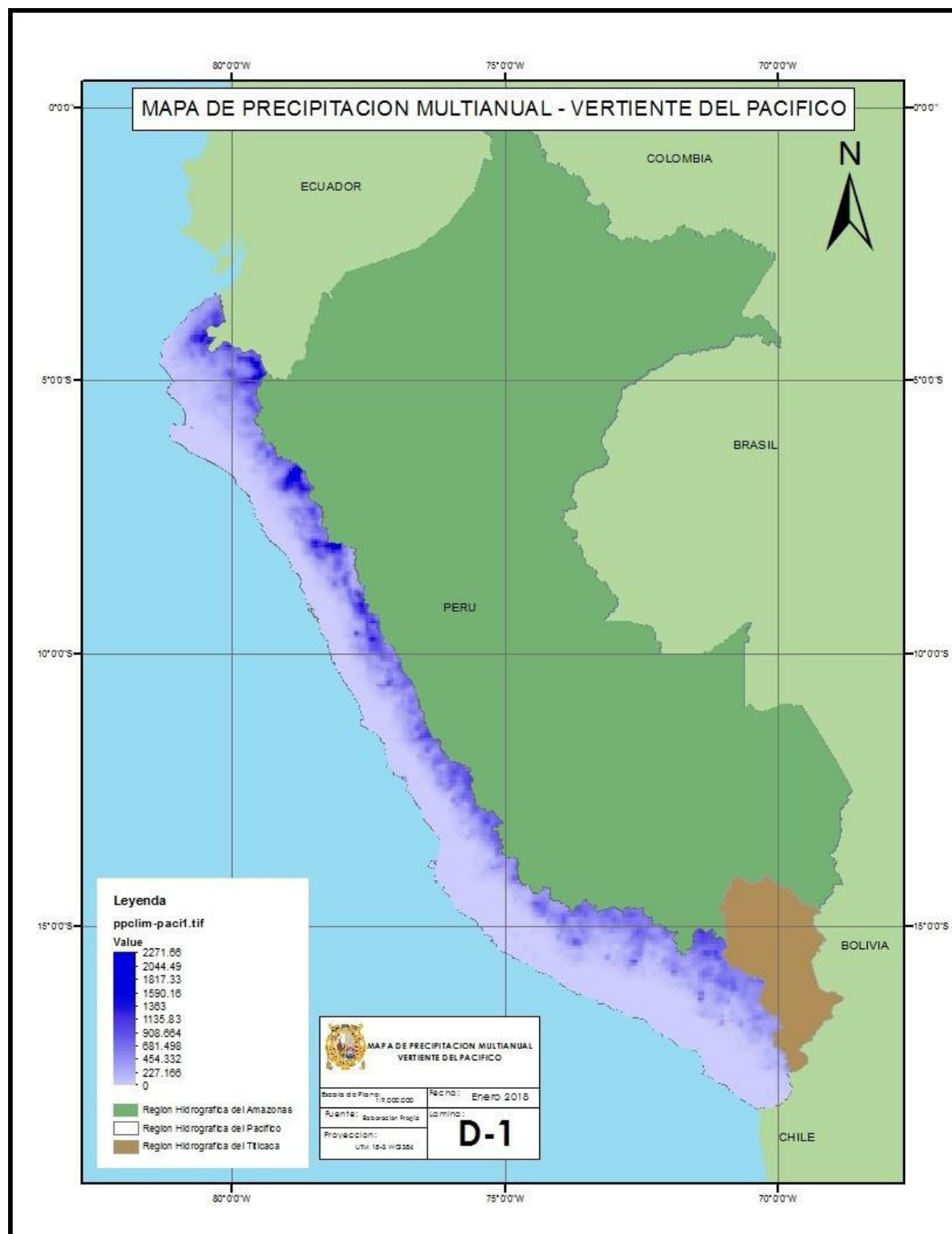


Figura 32: Dato: Mapa de Precipitación Multianual. Elaboración Propia.

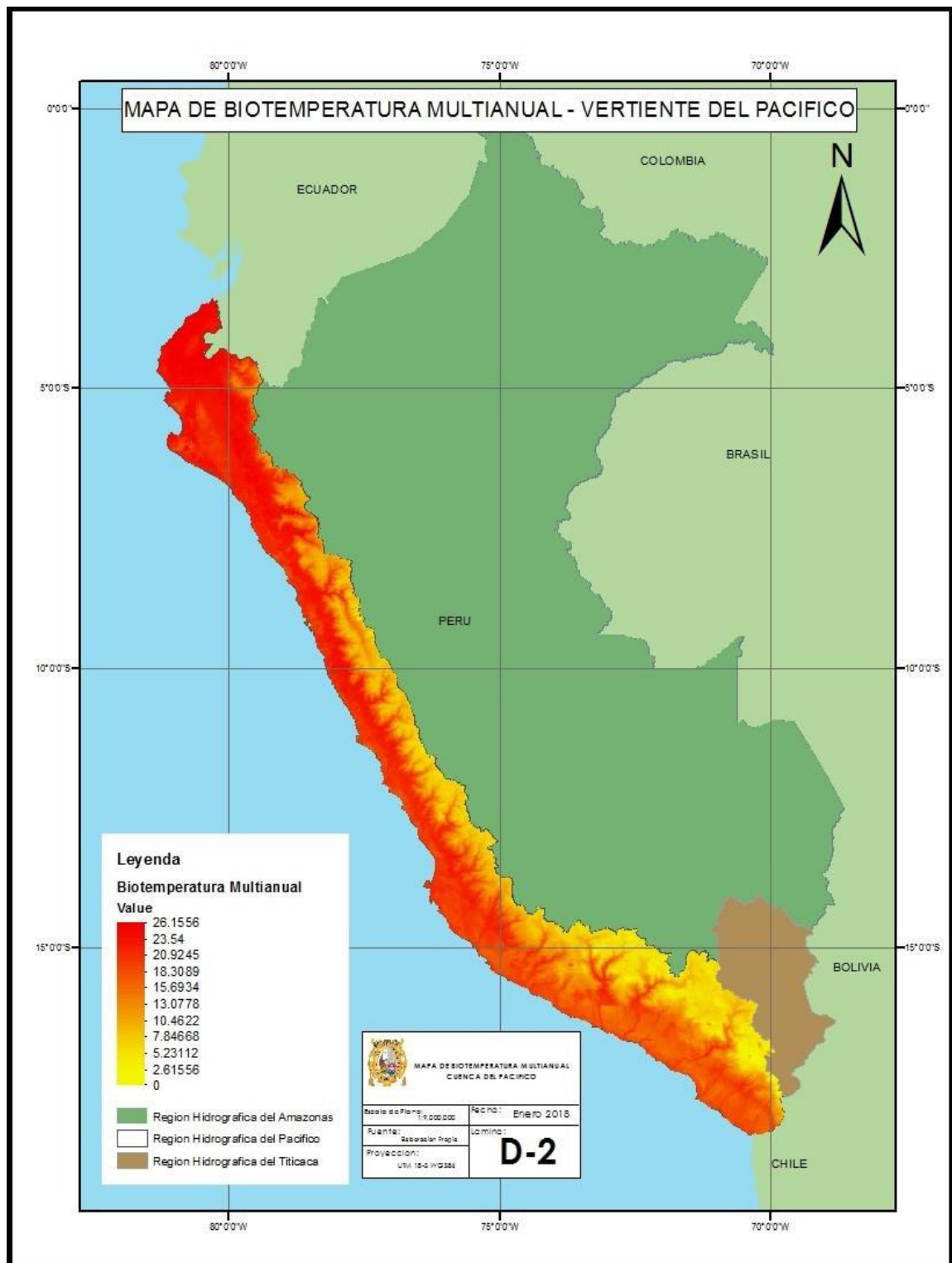


Figura 33: Dato: Mapa de Temperatura Multianual. Elaboración Propia

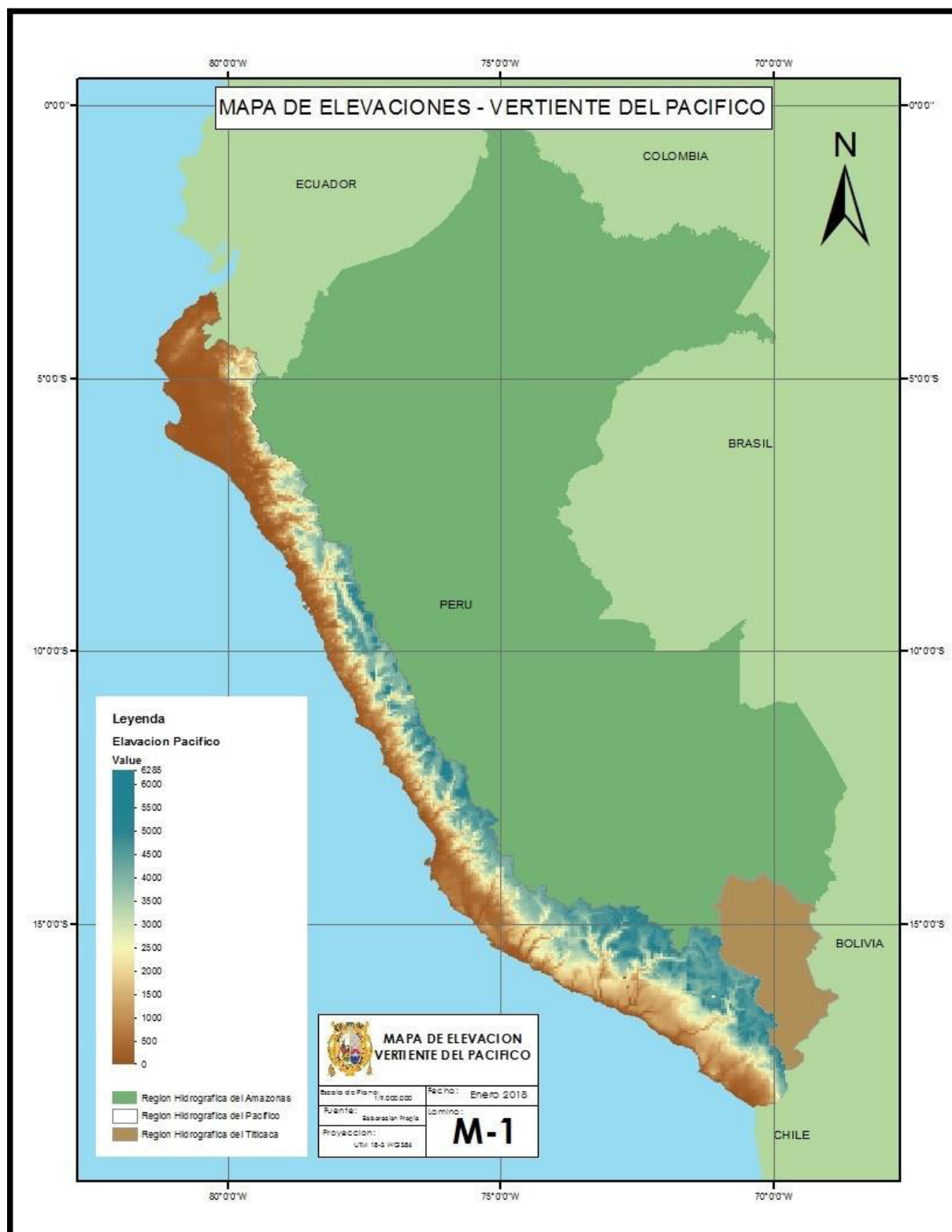


Figura 34: Covariable: Mapa de Elevaciones. Elaboración Propia.

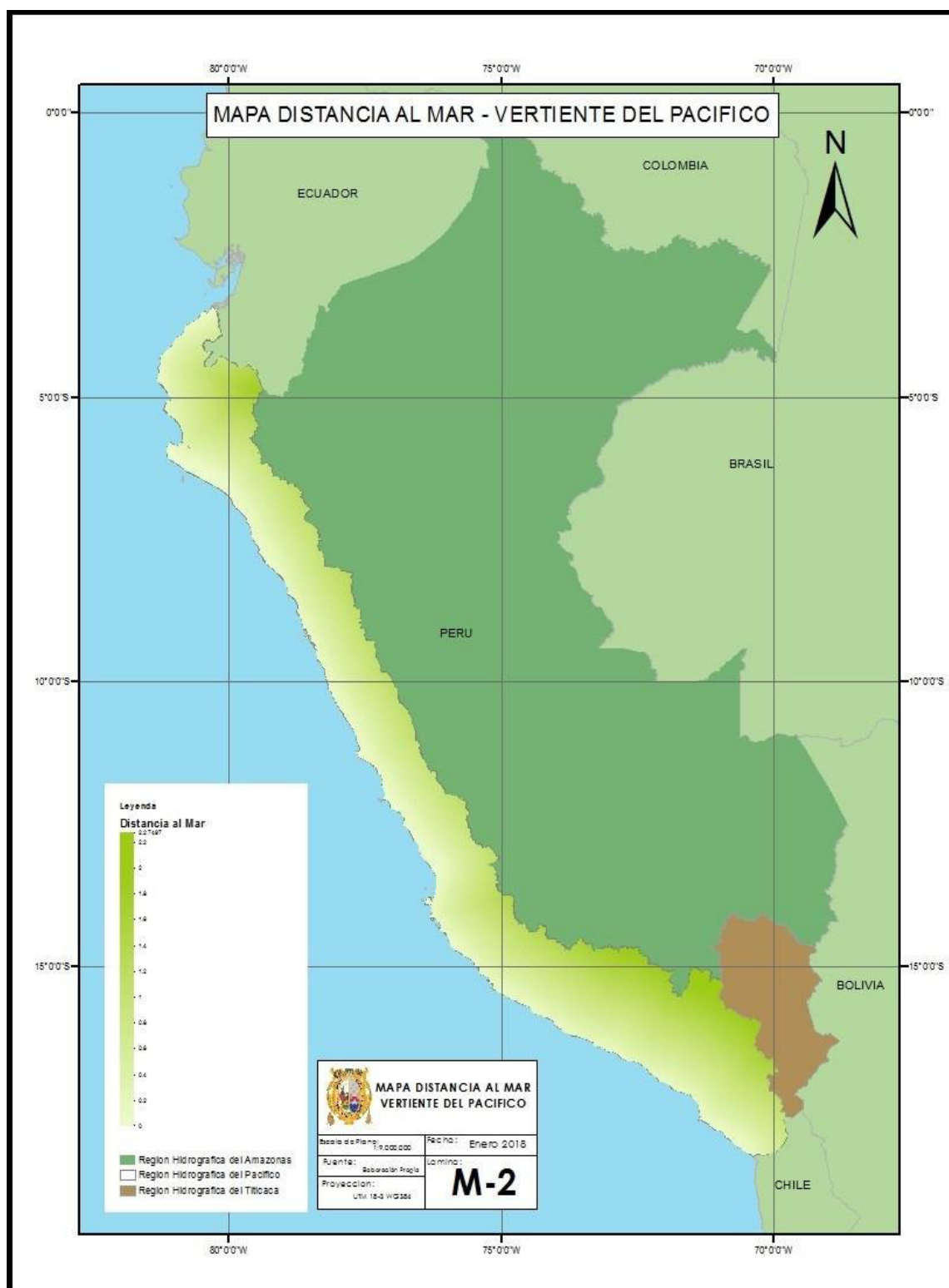


Figura 35: Covariable: Mapa Distancia al Mar. Elaboración Propia.

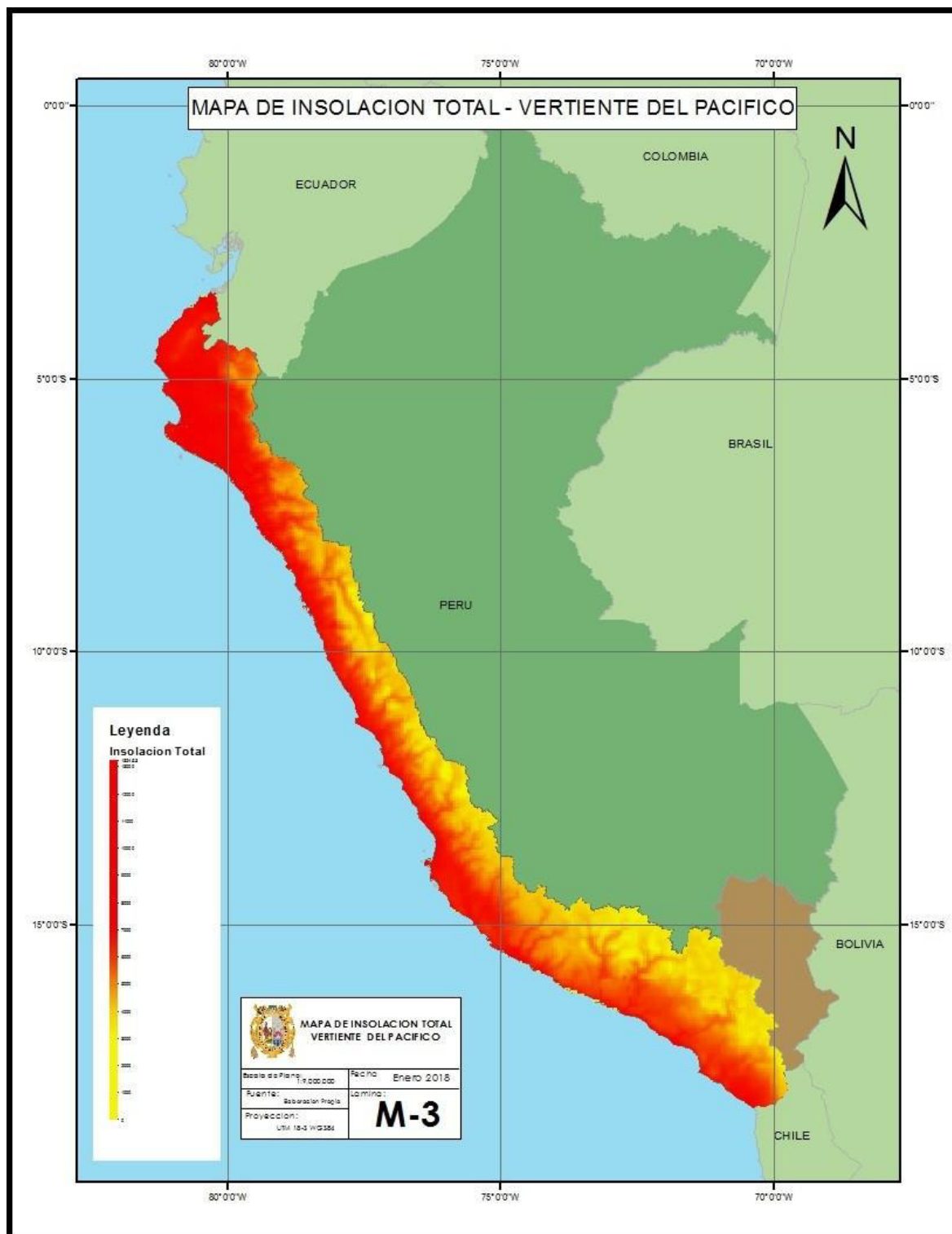


Figura 36: Covariable: Mapa de Insolación Total. Elaboración Propia.

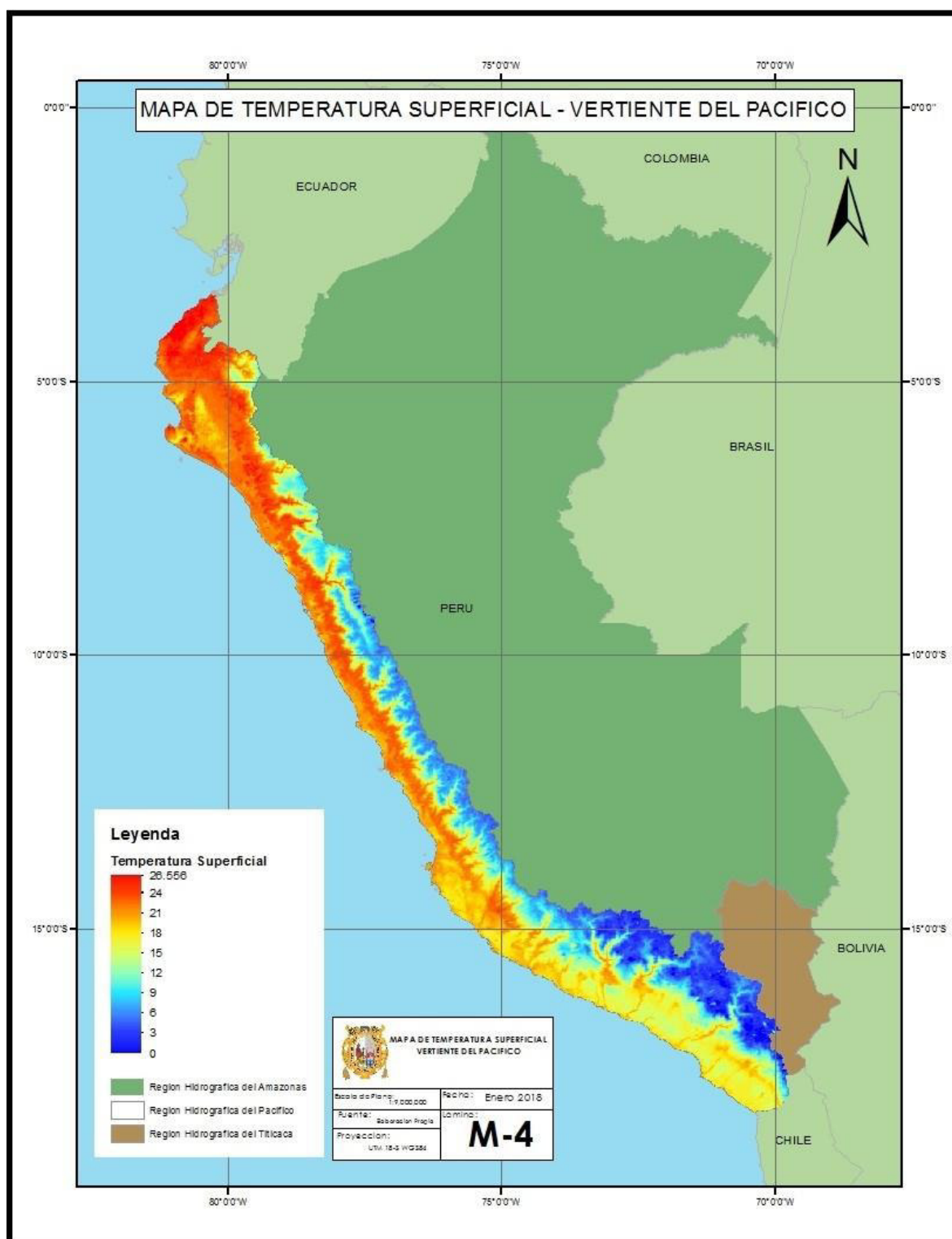


Figura 37: Covariable: Mapa de Temperatura Superficial. Elaboración Propia.

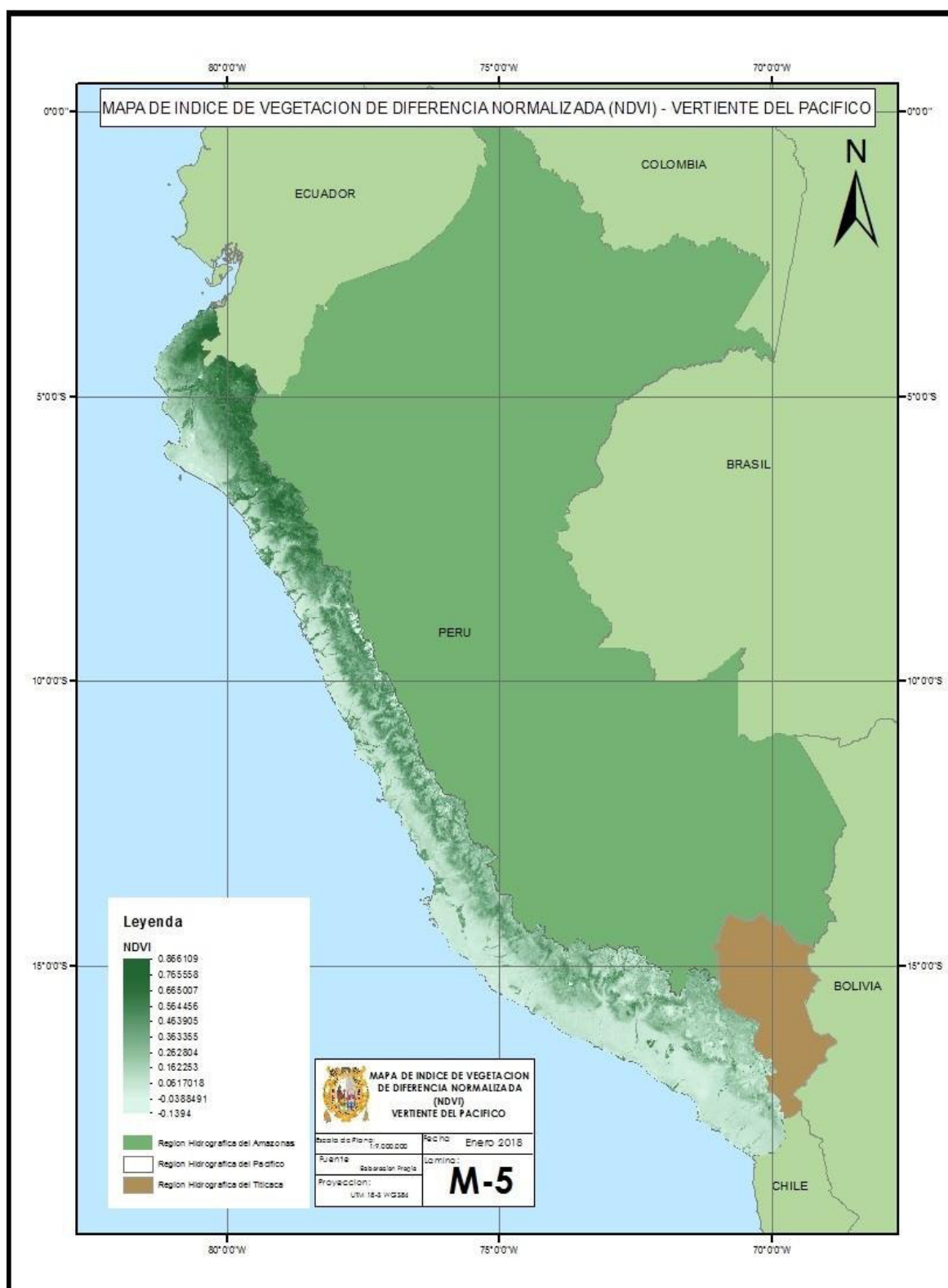


Figura 38: Covariable: Mapa de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).
Elaboración Propia.

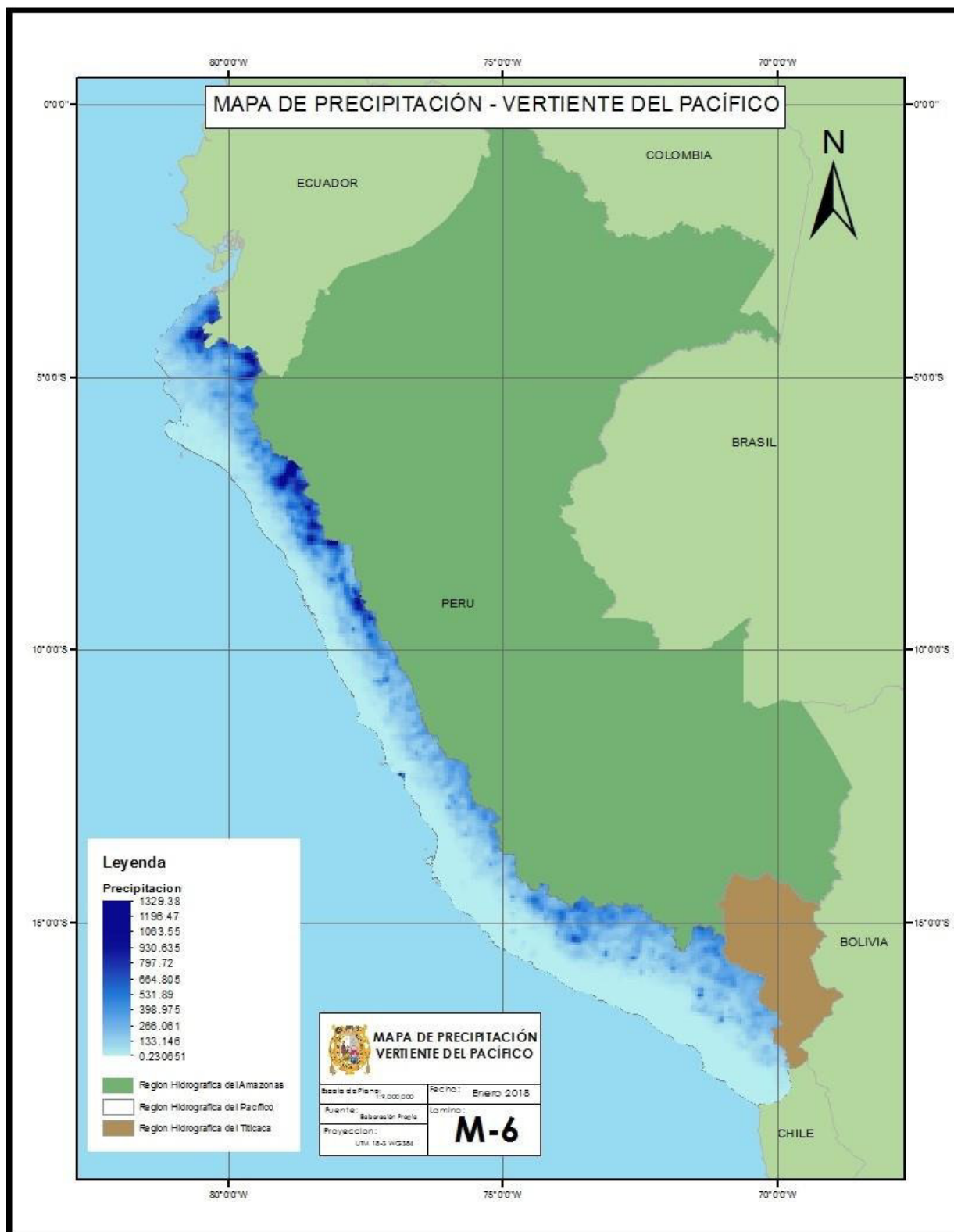


Figura 39: Covariable: Mapa de Precipitación. Elaboración Propia.

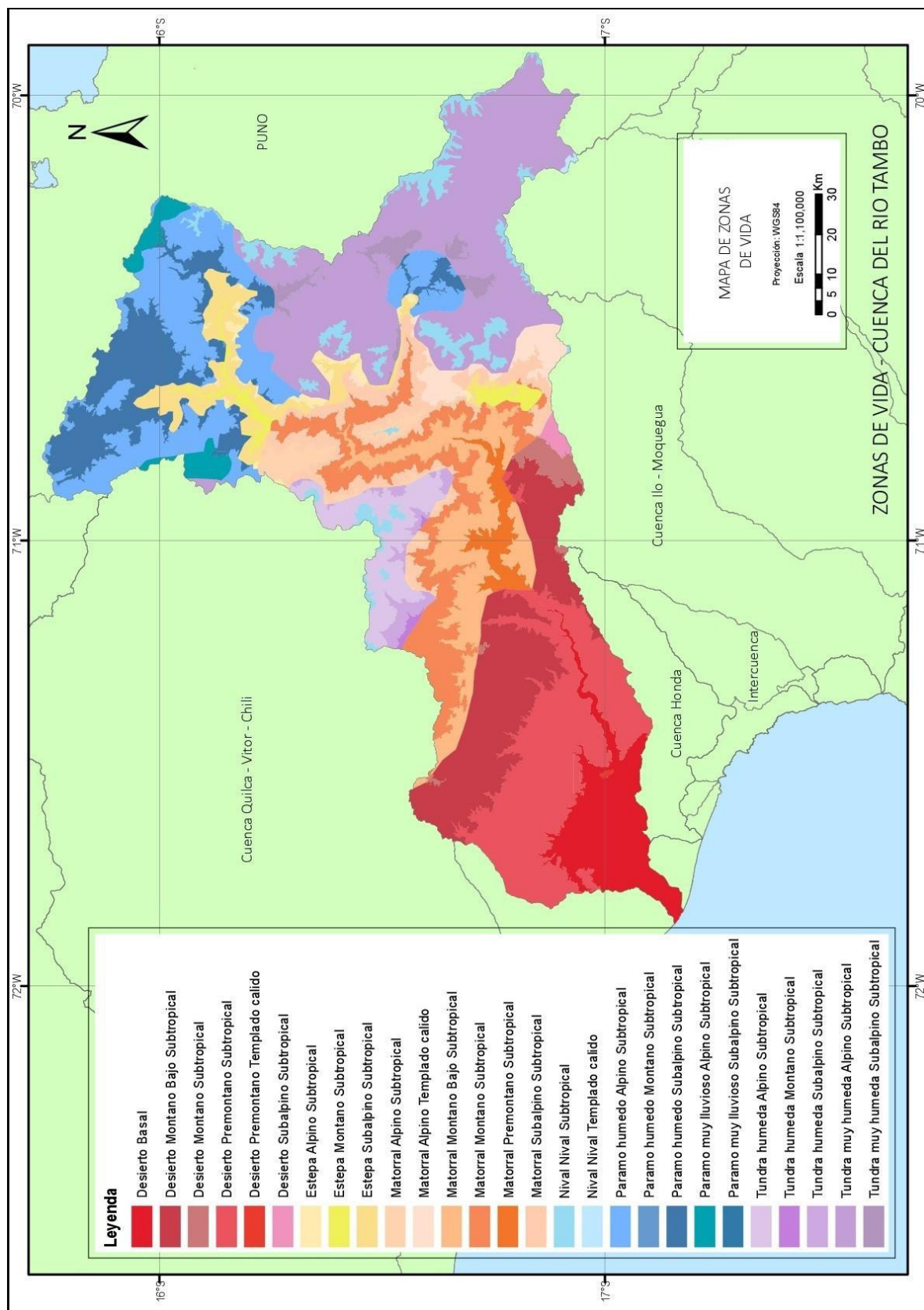


Figura 40: Zonas de Vida en la Cuenca del Río Tambo. Elaboración Propia.

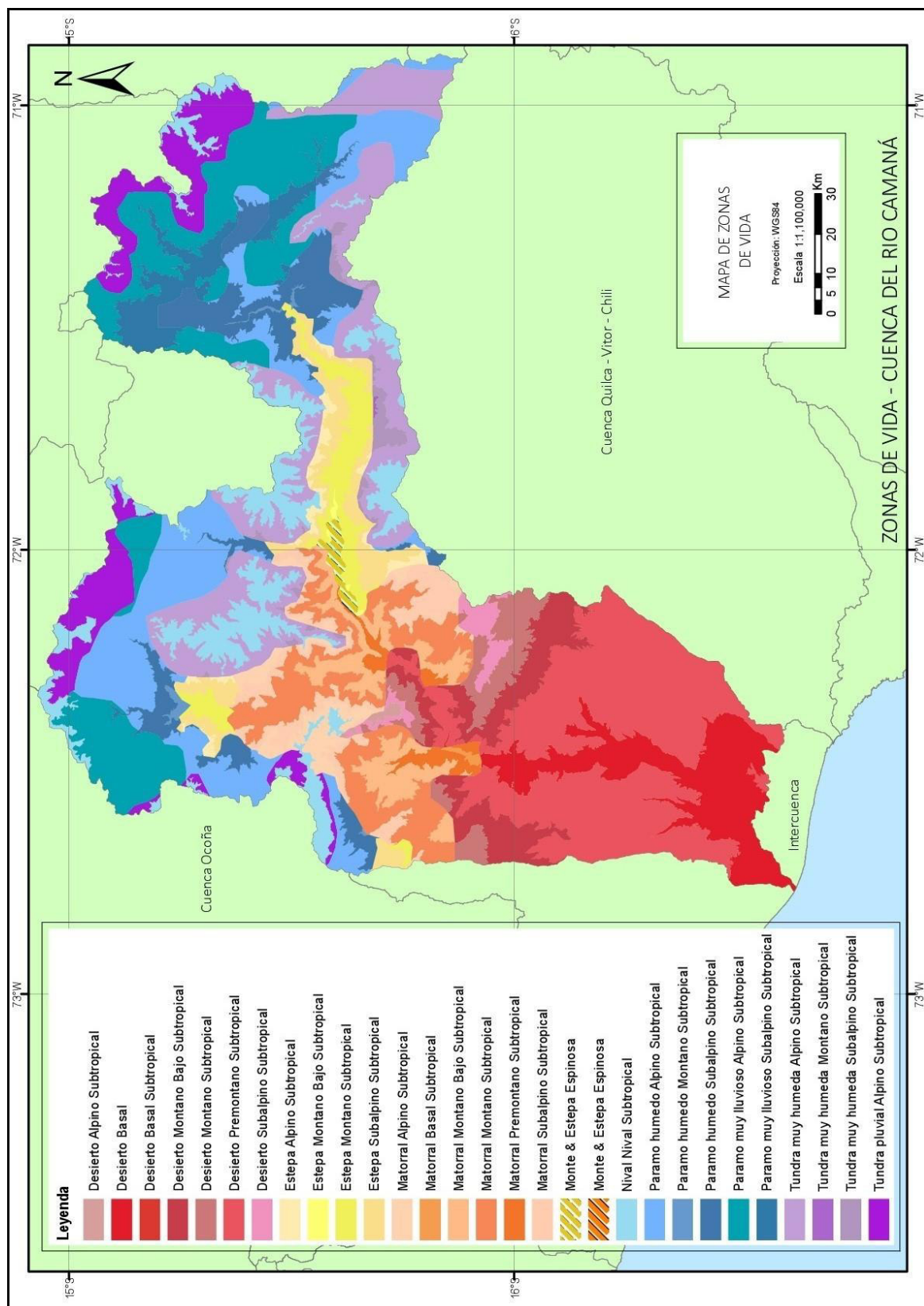


Figura 41: Zonas de Vida en la Cuenca del Río Marañón. Elaboración Propia.

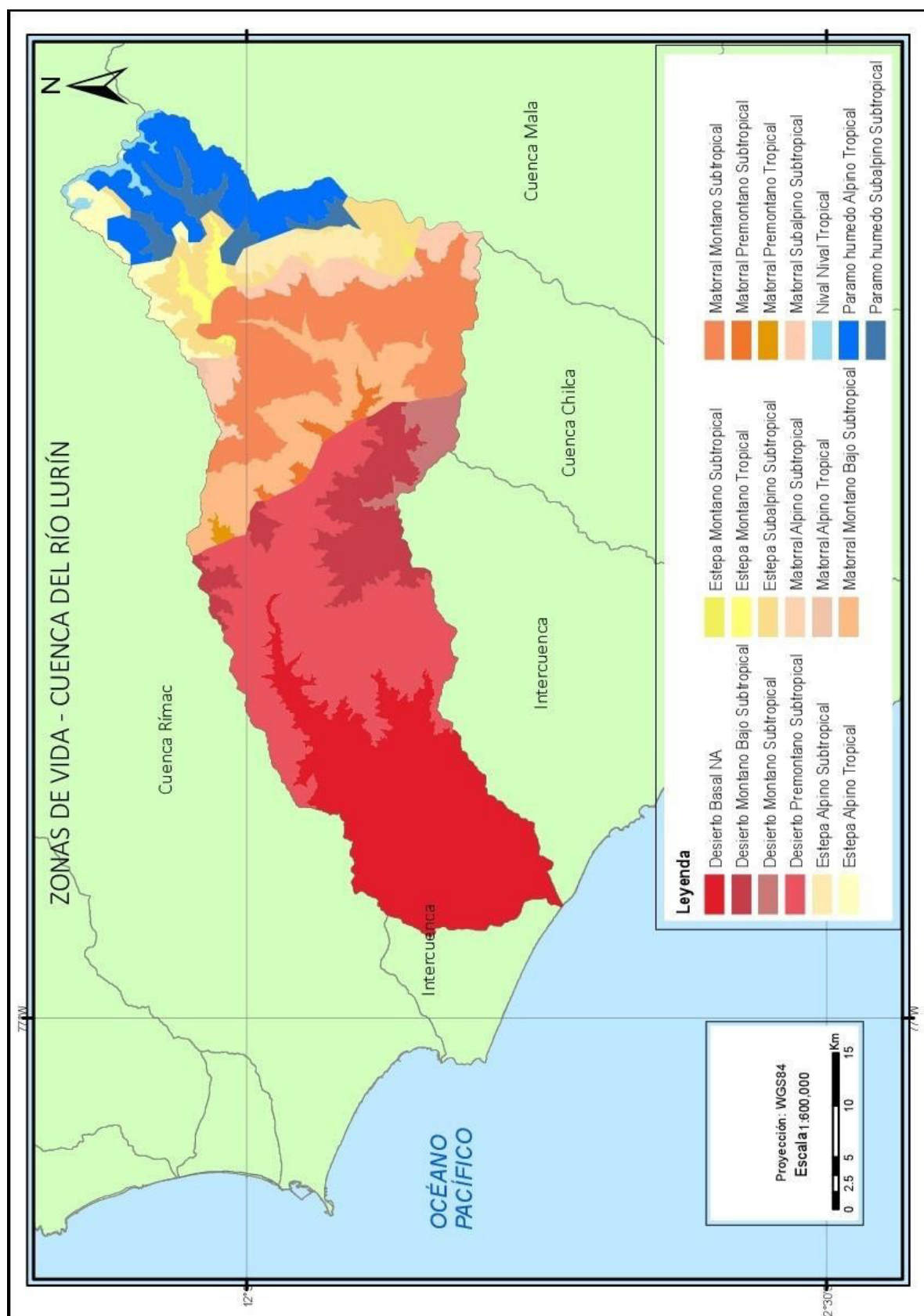


Figura 42: Zonas de Vida en la Cuenca del Río Lurín. Elaboración Propia.

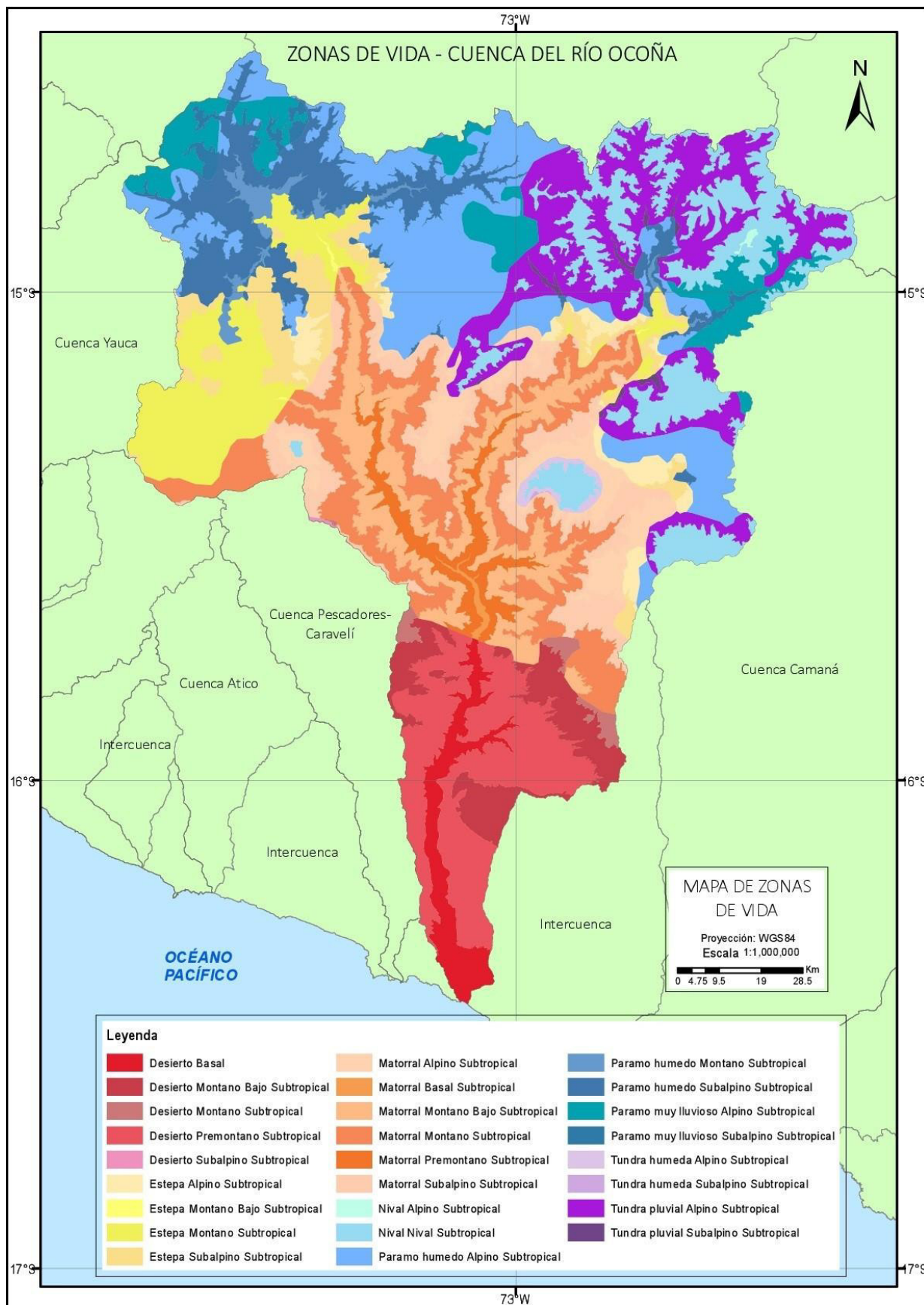


Figura 43: Zonas de Vida en la Cuenca del Río Ocoña. Elaboración Propia.

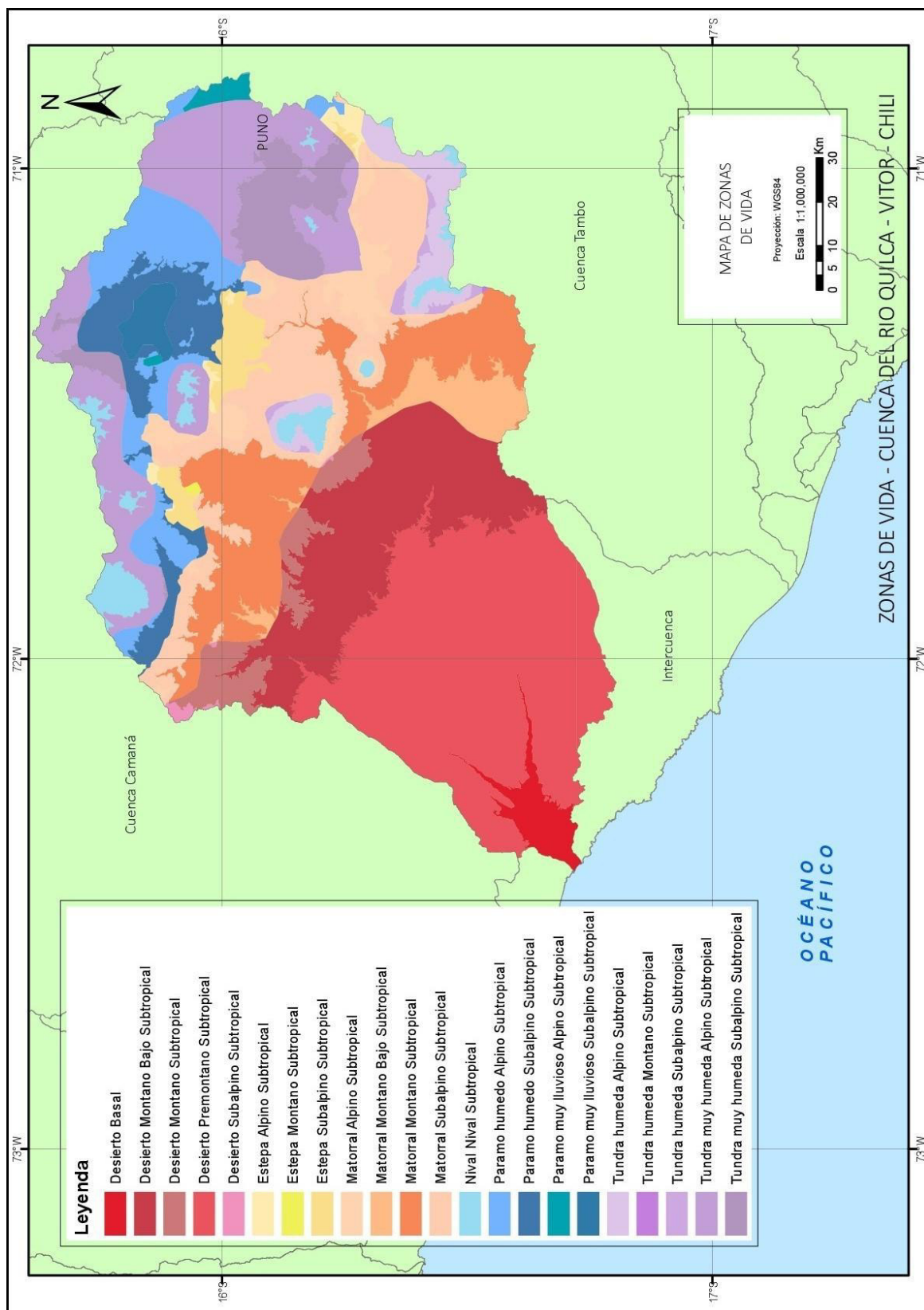


Figura 44: Zonas de Vida en la Cuenca del Río Quilca. Elaboración Propia.

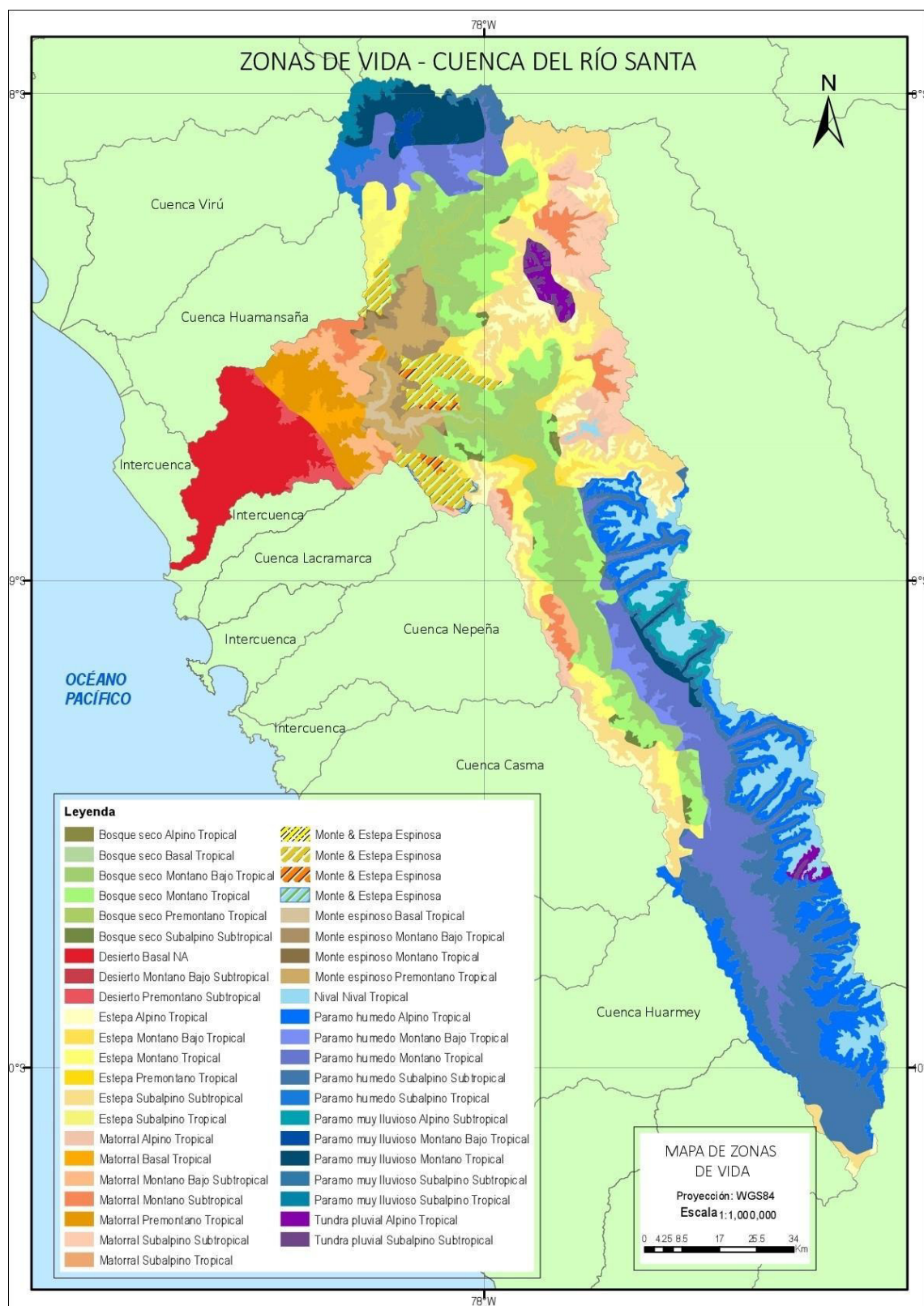


Figura 47: Zonas de Vida en la Cuenca del Río Santa. Elaboración Propia.

